

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNI LEOPOLDO ROZZA

CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE  
POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES DE UMA REDE DE SUPRIMENTOS  
SUBMETIDA ÀS INCERTEZAS DA DEMANDA E DO *LEAD TIME*

CURITIBA  
2014

GIOVANNI LEOPOLDO ROZZA

CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE  
POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES DE UMA REDE DE SUPRIMENTOS  
SUBMETIDA ÀS INCERTEZAS DA DEMANDA E DO *LEAD TIME*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, na Área de Concentração em Pesquisa Operacional, Linha de Pesquisa em Métodos Estatísticos Aplicados à Engenharia do Departamento de Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Sonia Isoldi Marty Gama Müller

Co-orientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin

CURITIBA  
2014

---

R893c

Rozza, Giovanni Leopoldo

Concepção e desenvolvimento de software para simulação de políticas de gestão de estoques de uma rede de suprimentos submetida às incertezas da demanda e do lead time / Giovanni Leopoldo Rozza. – Curitiba, 2014. 200f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia da Produção, 2014.

Orientador: Sonia Isoldi Marty Gama Müller -- Coorientador: Cassius Tadeu Scarpin.

Bibliografia: p. 141-150.

1. Simulação (Computadores digitais). 2. Cadeia produtiva. 3. Sistemas de tempo discreto. 4. Administração de material. 5. Controle de estoque. I. Universidade Federal do Paraná. II. Müller, Sonia Isoldi Marty Gama III. Scarpin, Cassius Tadeu IV. Título.

CDD: 003.83

---

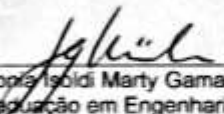
## FOLHA DE APROVAÇÃO

GIOVANNI LEOPOLDO ROZZA


### CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES DE UMA REDE DE SUPRIMENTOS SUBMETIDA ÀS INCERTEZAS DA DEMANDA E DO LEAD TIME

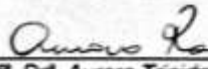
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

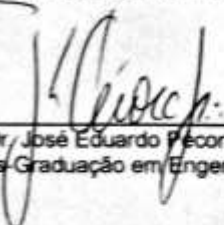
Orientadora:

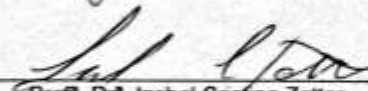
  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sonia Isoldi Marty Gama Müller  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Co-Orientador:

  
Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Aurora Trinidad Ramirez Pozo  
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos

  
Prof. Dr. José Eduardo Pecora Júnior  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Izabel Cristina Zattar  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

CURITIBA, 2014

## **AGRADECIMENTOS**

A meu estimado pai Leopoldo, a minha querida mãe Valci pelo apoio constante;  
A minha futura esposa Monique por estar sempre presente e ser compreensiva nos  
momentos em que a elaboração desta dissertação tomava a maior parte do meu  
tempo;  
Aos meus queridos orientadores Sonia Isoldi Marty Gama Müller e Cassius Tadeu  
Scarpin que me forneceram o apoio e os direcionamentos nos momentos certos.

## RESUMO

A diminuição dos custos logísticos teve como principal impacto nas organizações o acesso a mercados antes limitados a empresas de alcance local ou regional. Entretanto, com o aumento da oferta, igualmente aumentaram a competição e a expectativa dos consumidores. Preço não é mais a única dimensão considerada por um cliente que tem a sua disposição um grande número de escolhas. Assim as organizações, para se diferenciarem, estão cada dia investindo mais recursos na qualidade de serviço, oferecendo seus produtos na quantidade certa, para o lugar desejado e no tempo esperado pelo cliente. Um dos fatores de maior impacto na variabilidade do nível de serviço é a responsividade da cadeia de suprimentos, pois é a velocidade de reação às flutuações aleatórias da demanda que determinam o nível da qualidade de atendimento ao cliente e influencia na lucratividade total da cadeia. Entretanto lidar com variáveis que contenham níveis de incerteza tais como a demanda e o *lead time* tornam impraticáveis a sua solução por técnicas convencionais de matemática analítica. Dessa forma a simulação computacional, em especial a de eventos discretos, tem tomado cada vez mais espaço como metodologia para modelar diferentes aspectos de cadeias de suprimentos. Entre estes aspectos estão as políticas de ressuprimentos, que procuram equilibrar o conflito entre manter os custos de estoque em um mínimo e ao mesmo tempo oferecer alta taxa de disponibilidade aos seus clientes. Este trabalho propõe a implementação de um *software* de simulação independente de qualquer plataforma comercial de simulação, utilizando a metodologia de eventos discretos. O *software* de simulação modelará as políticas de ressuprimento de controle por revisão contínua e revisão periódica de cada elo de uma cadeia de suprimentos escalar suportando entradas estocásticas de demanda e de *lead time*. Através de sua operação será possível elaborar diferentes cenários permitindo assim uma melhor compreensão da complexa interação das políticas de estoque submetidas à aleatoriedade da demanda e do *lead time* e o efeito sobre os níveis de serviço e custos de estoque ao longo dos elos da cadeia de suprimentos.

Palavras chave: Cadeias de suprimentos. Simulação. Eventos discretos. Políticas de gestão de estoque.

## **ABSTRACT**

The reduction of logistical costs enabled organizations to expand their markets worldwide; however they also increased the difficulty in grabbing market share from their competitors. Clients now have at their disposal a large number of choices thus price is not anymore the only purchase decision driver. Organizations strive to meet and even surpass customer expectations by ensuring the right item in the right quantity at the right time at the right place for the right price in the right condition to the right customer. In order to achieve such level of excellence their supply chains require quickly response to market fluctuations, frequently of random nature. The increasing complexity of supply chains, growing larger each day with many facilities scattered around the globe leaves the task of integrating their components under a unified management policy without a trivial solution. Conventional analytical models applied to large systems featuring stochastic behavior are too complex to be solved. With computing power costs decreasing each day, computer simulation is a powerful tool to perform what-if scenario analysis and optimization of the whole supply chain. Among many aspects that could be object of supply chain simulation study are resupply policies. Such policies seek to balance the conflict between keeping inventory costs at a minimum while providing high customer service level. This work proposes the implementation of a discrete event simulation platform independent software that will model replenishment policies such as continuous review and periodic review for each node in the scalar supply chain. Through its operation will be possible to draw up different scenarios thus allowing a better understanding of the complex iteration of inventory policies subject to demand and lead time randomness and its effects on service levels and inventory costs over supply chain nodes.

Keywords : Simulation. Supply chain. Discrete event. Replenishment policy.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESCOPO DA PESQUISA.....	22
FIGURA 2 - UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS TÍPICA.....	27
FIGURA 3 - EVOLUÇÃO DA INTEGRAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	29
FIGURA 4 - TOMADA DE DECISÃO EM UMA CS ALINHADO COM A ESTRATÉGIA COMPETITIVA.....	33
FIGURA 5 - LÓGICA CAUSA-EFEITO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO EM UMA CS.....	37
FIGURA 6 - CLASSIFICAÇÃO DOS ESTOQUES.....	42
FIGURA 7 - O CUSTO TOTAL DE ESTQ. EM FUNÇÃO DOS CUSTOS PARCIAIS.....	43
FIGURA 8 - CONTROLE DE ESTOQUE POR REVISÃO CONTINUA.....	46
FIGURA 9 - CONTROLE DE ESTOQUE POR REVISÃO PERIÓDICA.....	49
FIGURA 10 - NÍVEL DE SERVIÇO x CUSTOS.....	51
FIGURA 11 - UM EXEMPLO DE CURVA DE DEMANDA.....	53
FIGURA 12 - O EFEITO CHICOTE CAUSADO PELO AUMENTO DA VARIÂNCIA DA DEMANDA.....	56
FIGURA 13 - O ESTUDO DA SIMULAÇÃO.....	67
FIGURA 14 - EVENTOS DISCRETOS DO SISTEMA “PREPARANDO O CHÁ”.....	69
FIGURA 15 - MODELO ATENDIMENTO “CHÁ CORTESIA”.....	70
FIGURA 16 - DIAGRAMA TEMPORAL DOS EVENTOS $e_1... e_6$ .....	73
FIGURA 17 - ARQUITETURA DO MODELO DE CS.....	86
FIGURA 18 - ITERAÇÃO ENTRE AS ENTIDADES LOJA E CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO.....	90
FIGURA 19 - ALGORITMO ESCOLHA DE FORNECEDOR PELO MENOR VALOR DE ROP.....	91
FIGURA 20 - O ALGORITMO DE SIMULAÇÃO.....	93
FIGURA 21 - FLUXOGRAMA DE ATUALIZAÇÃO DA FILA DE EVENTOS CHEGADA CLIENTE.....	97
FIGURA 22 - CURVAS DE DEMANDA COM E SEM TENDÊNCIA.....	99



FIGURA 23 - INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO.....	102
FIGURA 24 - INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO ENTIDADE LOJA.....	105
FIGURA 25 - INTERFACE PARA CONFIG. PARÂMETROS DE PREVISÃO.....	105
FIGURA 26 - INTERFACE PARA CONFIG. DO DEGRAU DE DEMANDA.....	106
FIGURA 27 - INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO ENTIDADE CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO.....	106
FIGURA 28 - INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO ENTIDADE FÁBRICA....	108
FIGURA 29 - INTERFACE GRÁFICA CUSTOS DO PRODUTO.....	109
FIGURA 30 - JANELA DE GERAÇÃO DE GRÁFICOS.....	110
FIGURA 31 - COMPARAÇÃO DE METODOS DE PREVISÃO.....	111
FIGURA 32 - GRÁFICO DE METODOS DE PREVISÃO X DEMANDA.....	111
FIGURA 33 - VALOR MÉDIO E DESVIO PADRÃO DE DIVERSAS MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	112
FIGURA 34 - PROCEDIMENTO PARA VALIDAÇÃO DAS F.D.P.....	117
FIGURA 35 - CENÁRIO DE TESTE PARA VALIDAÇÃO DA SELEÇÃO DO FORNECEDOR PELO MENOR ROP.....	121
FIGURA 36 - DEMANDA COM VAR. BRUSCA, PREVISÃO, RMSE E EST. FÍSICO, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA FIXO.....	129
FIGURA 37 - DEMANDA SEM VAR. BRUSCA, PREVISÃO, RMSE E EST. FÍSICO, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA FIXO.....	130
FIGURA 38 - DEMANDA E TAXA DE ATENDIMENTO COM E SEM VAR. BRUSCA, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA FIXO.....	131
FIGURA 39 - DEMANDA, ESTQ. FÍSICO E TAXA DE ATENDIMENTO COM VAR. BRUSCA, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTQ. DE SEGURANÇA VARIÁVEL.....	132
FIGURA 40 - DEMANDA, ESTQ. FÍSICO E TAXA DE ATENDIMENTO COM VAR. BRUSCA, REVISÃO PERIÓDICA COM ESTQ. DE SEGURANÇA VARIÁVEL.....	132
FIGURA 41 - TAXA DE ATENDIMENTO COM LEAD TIME REDUZIDO, CONTROLE DE ESTQ. POR VER. CONTINUA E ESTQ. SEGURANÇA FIXO.....	133
FIGURA 42 - TAXA DE ATENDIMENTO LOJA “SANTAFELIC” COM LEAD TIME REDUZIDO, CONTROLE DE ESTQ. POR REVISÃO CONTÍNUA E ESTQ. SEGURANÇA VARIÁVEL.....	135

FIGURA 43 - TAXA DE ATENDIMENTO LOJA “SANTAFELIC” COM LEAD TIME REDUZIDO, CONTROLE DE ESTQ. POR REVISÃO PERIÓDICA E ESTQ. SEGURANÇA VARIÁVEL.....	135
FIGURA 44 - TAXA DE ATENDIMENTO LOJA “SANTAFELIC” COM LEAD TIME REDUZIDO NO C.D. E FÁBRICA, CONTROLE DE ESTQ. POR REVISÃO CONTÍNUA E ESTQ. SEG. VARIÁVEL.....	136
FIGURA 45 - COMPARATIVO DESEMP. MÉTODOS DE PREVISÃO “LOJA A”..	136
FIGURA 46 - TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DA MÉDIA DIST. NORMAL.....	162
FIGURA 47 - TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DA MÉDIA DISTR. EXPONENCIAL.....	164
FIGURA 48 - TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DO PAR. <i>a</i> F.D.P TRIANGULAR.....	167
FIGURA 49 - TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DO PAR. <i>b</i> F.D.P TRIANGULAR.....	167
FIGURA 50 - TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DO PAR. <i>c</i> F.D.P TRIANGULAR.....	168
FIGURA 51 - LEGENDA PARA OS EVENTOS CHEGADA CLIENTES NAS ENTIDADES LOJA.....	177
FIGURA 52 - PREVISÕES DE DEMANDA SEMANAS 2...6 LOJA “PILARZINHO”.....	179
FIGURA 53 - JANELA DE COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO.....	184
FIGURA 54 - VARIAÇÕES REPENTINAS DE DEMANDA LOJA “BIGORRILHO” E “SANTAFELIC”.....	186
FIGURA 55 - REGRESSAO LINEAR CURVA DE DEMANDA LOJA COM TENDÊNCIA.....	187
FIGURA 56 - REGRESSAO LINEAR CURVA DE DEMANDA LOJA SEM TENDÊNCIA.....	188
FIGURA 57 - CENÁRIO A SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO MENOR ROP ..	189
FIGURA 58 - CENÁRIO B SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO MENOR ROP...	190
FIGURA 59 - CENÁRIO C SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO MENOR ROP...	190
FIGURA 60 - CENÁRIO SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO CRITÉRIO FIXO...	191
FIGURA 61 - PERÍODO DE RESSUPRIMENTO REVISÃO PERIÓDICA.....	192
FIGURA 62- CENÁRIO A DE EMISSÃO DE PEDIDOS.....	193

FIGURA 63 - CENÁRIO B DE EMISSÃO DE PEDIDOS.....	194
FIGURA 64 - CENÁRIO C DE EMISSÃO DE PEDIDOS.....	195
FIGURA 65- CENÁRIO D DE EMISSÃO DE PEDIDOS.....	195
FIGURA 66 - CENÁRIO E DE EMISSÃO DE PEDIDOS.....	196
FIGURA 67 - O EFEITO CHICOTE.....	197
FIGURA 68 – CUSTOS DE ESTOQUE, COM EXCEÇÃO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO.....	198
FIGURA 69 - CUSTOS DE MANUTENÇÃO.....	198

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ADMINISTRAÇÃO TRADICIONAL X SCM.....	30
QUADRO 2 - SISTEMAS PROPOSTOS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO PARA CS.....	39
QUADRO 3 - METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE ERRO.....	60
QUADRO 4 - EXEMPLO DE SISTEMAS E SEUS COMPONENTES.....	63
QUADRO 5 - DESVANTAGENS E VANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO.....	67
QUADRO 6 - UMA TAXONOMIA PARA SIMULAÇÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	75
QUADRO 7 - UMA TAXONOMIA PARA QUESTÕES ABORDADAS EM CS.....	78
QUADRO 8 - MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA O MODELO DE SIMULAÇÃO DA CS.....	86
QUADRO 9 - HORÁRIO DE CHEGADA DOS CLIENTES.....	87
QUADRO 10 - LISTA DE VALIDAÇÃO DOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	115

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - NÍVEL DE SERV. E FUNÇÃO PERDA (LOSS) EM FUNÇÃO DE $z$ ..47	
TABELA 2 - RESULTADOS ESTATÍSTICOS CENÁRIO INTEGRADO.....	139
TABELA 3 - RESULTADOS DO TESTE K-S PARA F.D.P NORMAL.....	161
TABELA 4 - RESULTADOS DO TESTE CHI-QUADRADO PARA D.P. 1,5.....	162
TABELA 5 - RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA MEDIA=14.....	162
TABELA 6 -TESTE K-S PARA A DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL.....	164
TABELA 7 - RESULTADOS DO TESTE t-STUDENT PARA MEDIA=900.....	165
TABELA 8 - TESTE K-S PARA A DISTRIBUIÇÃO TRIANGULAR.....	166
TABELA 9 - RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA PAR. $a=6$ .....	168
TABELA 10 - RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA PAR. $b=11$ .....	168
TABELA 11 - RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA PAR. $c=14$ .....	169
TABELA 12 - TESTE CHI-QUADRADO PARA DISTRIBUIÇÃO UNIFORME.....	170
TABELA 13 - VALOR DO $Q^*$ (DESEJADO X CALCULADO).....	172
TABELA 14 - VALOR DO $ROP^*$ (DESEJADO X CALCULADO).....	173
TABELA 15 - VALOR DE $T^*$ (DESEJADO X CALCULADO).....	174
TABELA 16 - VALOR DE $M^*$ (DESEJADO X CALCULADO).....	175
TABELA 17 - ENTRADAS DE CLIENTES LOJA “PILARZINHO” DIA 1 DE SIMULAÇÃO .....	177
TABELA 18 - DEMANDA DIÁRIA LOJA ”PILARZINHO” DIAS 01...35 DE SIMULAÇÃO .....	178
TABELA 19 - DEMANDA DIÁRIA LOJA “BACACHERI” DIAS 01...35 DE SIMULAÇÃO.....	179
TABELA 20 - PREVISÃO CALCULADA PARA LOJA “BACACHERI” (AMORTECIM. EXP. SIMPLES).....	180
TABELA 21 - DEMANDA DIÁRIA LOJA “BIGORRILHO” DIAS 01...35 DE SIMULAÇÃO.....	181
TABELA 22 - PREVISÃO CALCULADA PARA LOJA “BIGORRILHO” (AMORTECIM. EXP. DUPLO).....	182
TABELA 23 - ERRO RMSE DA PREVISÃO LOJA “SANTAFELIC”.....	183
TABELA 24 - ERRO RMSE DA PREVISÃO C. D. “CURITIBA”.....	183
TABELA 25 - ERRO RMSE DA PREVISÃO LOJA “LOJA 1”.....	184
TABELA 26 - DEMANDAS COM E SEM TENDÊNCIA.....	185

TABELA 27 - DEMANDA SEMANAL LOJA COM E SEM TENDÊNCIA.....	187
TABELA 28 - ESTATÍSTICAS PÓS-SIMULAÇÃO.....	199
TABELA 29 - REFERÊNCIA ARQUIVOS DE LOGS.....	201

## LISTA DE SIGLAS

CS	- Cadeia de Suprimentos
CRM	- <i>Customer Relationship Management</i>
EDI	- <i>Electronic data Interchange</i>
ERP	- <i>Enterprise Resource Planning</i>
F.D.P.	- Função de Densidade de Probabilidade
HLA	- <i>High Level Architecture</i>
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LEC	- Lote Econômico do Pedido
LT	- <i>Lead Time</i>
MRP	- <i>Material Resource Planning</i>
PID	- Proporcional Integral Derivativo
RAM	- <i>Ramdom Access Memory</i>
ROI	- <i>Return on Investment</i>
ROP	- <i>Reordering Point</i>
RMSE	- <i>Root Mean Squared Error</i>
SAC	- Serviço de Atendimento ao Cliente
SCC	- <i>Supply Chain Council</i>
SCM	- <i>Supply Chain Management</i> (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos)
SCOR	- <i>Supply Chain Operations Reference model</i>
SS	- <i>Safety Stock</i>
K-S	- Kolmogorov-Smirnov
VMI	- <i>Vendor Managed Inventory</i>
WIP	- <i>Work In Progress</i>

## LISTA DE ABREVIATURAS

Cap.	-	capítulo
Pág.	-	página
Unds.	-	unidades



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	OBJETIVO PRINCIPAL .....	21
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.3	JUSTIFICATIVA .....	22
1.4	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	24
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	25
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>26</b>
2.1	CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	26
2.1.1	A Gerência da Cadeia de Suprimentos (SCM) .....	28
2.1.2	Desempenho da Cadeia de Suprimentos .....	30
2.1.3	Áreas Funcionais de Uma Cadeia de Suprimentos .....	32
2.1.4	Indicadores de Desempenho de Cadeias de Suprimentos .....	35
2.1.5	Políticas de Gestão de Custos de Estoque .....	40
2.1.6	Métodos para Previsão da Demanda .....	51
2.2	MODELAGEM E SIMULAÇÃO .....	60
2.2.1	Simulação Computacional .....	61
2.2.2	O Estudo através da Simulação.....	66
2.2.3	A Simulação de Eventos Discretos .....	68
2.3	O USO DA SIMULAÇÃO PARA MODELAGEM DE CS.....	73
2.3.1	Introdução.....	73
2.3.2	Técnicas de Simulação de CS .....	75
2.3.3	Problemas Abordados pela Simulação de CS.....	77
2.3.4	Modelos de Simulação de CS que Abordam a Política de Ressuprimentos .....	80
2.4	DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE EM SIMULADORES DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS .....	83
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>84</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	84
3.2	ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....	85
3.2.1	Temporização.....	87
3.2.2	O Algoritmo de Simulação .....	88
3.3	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....	101
3.3.1	Configuração Parâmetros de Simulação .....	101

3.3.2	Configuração da Entidade Loja.....	102
3.3.3	Configuração da Entidade Centro de Distribuição.....	106
3.3.4	Configuração da Entidade Fábrica.....	108
3.3.5	Configuração dos Custos Unitário e de Aquisição .....	108
3.3.6	Gráficos de Simulação .....	109
3.3.7	Comparativo de Métodos de Previsão .....	110
3.3.8	Estatísticas Apresentadas Após a Simulação .....	112
3.3.9	O Software de Simulação .....	113
3.4	METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	115
3.5	FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE .....	115
3.6	POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUE, MÉTODOS E ERROS DE PREVISÃO .....	117
3.6.1	Escolha do Fornecedor Pelo Critério de Menor ROP .....	120
3.6.2	Escolha do Fornecedor Pelo Critério Fixo .....	121
3.6.3	Controle de Estoque por Revisão Periódica .....	122
3.6.4	Demanda das Entidades Loja com Tendência .....	122
3.6.5	Iteração Entre as Entidades.....	123
3.6.6	Custos de Estoque .....	124
3.7	O EFEITO CHICOTE .....	124
3.8	ESTATÍSTICAS PÓS-SIMULAÇÃO .....	125
3.9	O COMPORTAMENTO INTEGRADO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....	125
3.9.1	Cenário A – Aumento Repentino da Demanda.....	126
3.9.2	Cenário B – Variação do Lead Time .....	126
3.9.3	Cenário C – Análise Estatística Pós-Simulação .....	126
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>128</b>
4.1	COMPORTAMENTO INTEGRADO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	128
4.2	CENÁRIO A – AUMENTO REPENTINO DA DEMANDA.....	128
4.3	CENÁRIO B – VARIAÇÃO DO LEAD TIME .....	133
4.4	CENÁRIO C – ANÁLISE ESTATÍSTICA PÓS-SIMULAÇÃO .....	136
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>140</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há dez anos o comércio mundial de bens e serviços, representado pela soma das exportações e importações, era da ordem de 13,2 trilhões de dólares, em 2012 esse valor atingiu a soma de 36,8 trilhões de dólares, um volume quase três vezes maior (WORLD TRADE ORGANIZATION, 2013).

Este aumento de volume do comércio global somente tornou-se possível porque as grandes organizações, graças à diminuição drástica dos custos de transporte, estenderam o mercado consumidor de seus produtos para praticamente todos os cantos do planeta (BALLOU, 2006; CAVES; FRANKEL; JONES, 2001).

Coyle *et al.* (2008) e Waters (2003) entretanto argumentam que somente transporte barato e confiável não explicam este aumento. A evolução tecnológica das comunicações por meio de troca eletrônica de dados entre empresas (EDI) melhorou a eficiência de suas operações.

Os autores também apontam a universalização do uso da Internet como fator de estímulo de troca de informações sobre produtos, o que reforçou o conhecimento de marcas fora do seu mercado local.

De acordo com Caves (1996), o aumento de compradores e vendedores em um determinado mercado resulta na diminuição da concentração da oferta por algumas poucas indústrias. Assim pode-se observar que a expansão dos investimentos internacionais das organizações multinacionais, consequência do processo de globalização dos mercados, intensificou a competição.

Segundo Christopher, (2011) para se diferenciarem-se em um ambiente competitivo, as organizações adotam duas estratégias para seus produtos que são a contínua redução do seu custo e a busca por meios de se aumentar a percepção do seu valor aos olhos dos seus clientes.

Para o autor esta última estratégia pode ser alcançada, por exemplo, através de uma maior customização do produto com a fragmentação do seu mercado, serviços pós-venda, assistência técnica, pacotes financeiros para o cliente etc.

Para Minderhoud e Fraser (2005) a evolução tecnológica pode ser considerada outro aspecto da competição, que reduziu o ciclo de vida médio de um produto entre seu desenvolvimento e a maturação no mercado, outrora entre dez a quinze anos, para cerca de cinco anos. De acordo com os autores se uma empresa

não é rápida o suficiente para responder a constante demanda por inovação de um mercado cada vez mais rigoroso, é muito provável que seu concorrente o faça.

Dessa forma a hipercompetição em um mercado globalizado e de dinâmica complexa é formado por clientes que exigem cada vez mais valor adicionado, ciclos de vida de produtos cada vez mais curtos.

Todos estes fatores demandam atualmente das organizações o desenvolvimento da capacidade de interagir associativamente com fornecedores, clientes e concorrentes no sentido de uma gestão sistêmica eficiente para conquistar uma vantagem competitiva sustentável (SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI E., 2007; SIMATUPANG; SRIDHARAN, 2002; WOOD; ZUFFO, 1998).

De acordo com Wood e Zuffo (1998) esta iteração se materializa na forma de cadeias de suprimentos, redes organizacionais que se formam com o objetivo de reduzir incertezas e riscos, organizando as atividades econômicas por meio da coordenação e organização entre as empresas.

Entretanto apoiar a tomada de decisão por meio do uso de modelos matemáticos que não contemplam essas incertezas e riscos, baseando-se no valor médio das variáveis de interesse, muitas vezes levam a resultados irrealistas que diminuem a eficiência e lucratividade da organização (COPE; FAYEZ, 2007).

O comportamento da demanda é um exemplo típico de informação que pode ter uma componente de incerteza, sua importância é estratégica pois a demanda é a entrada básica para o planejamento e controle de todas as áreas funcionais da organização (BALLOU, 2006).

Da mesma forma a variabilidade do tempo de processamento do pedido, do inglês *lead time*, que corresponde ao tempo entre a recepção do pedido e o seu recebimento pelo cliente, influencia negativamente no tempo de reação à mudanças repentinas da demanda em uma cadeia de suprimentos e que pode resultar em menor disponibilidade do produto (CHRISTOPHER, 2011).

A metodologia reconhecida como o método quantitativo mais eficiente para modelar o comportamento de sistemas que apresentam componentes estocásticos, tais como as cadeias de suprimentos, é a simulação computacional. Sua utilização também auxilia na descoberta do desempenho ótimo global, na melhora da percepção e no entendimento da sua natureza dinâmica. (TOBAIL; CROWE; ARISHA, 2011; LEE *et al.*, 2002;).

O crescente interesse por parte da comunidade científica e das organizações pelo estudo de cadeias de suprimentos através das técnicas de modelagem e simulação foi apontado pelo estudo de Tako e Robinson (2012).

Os autores identificaram entre 1996 e 2006 no banco de dados *Web of Knowledge* cerca de cento e vinte e sete artigos científicos publicados sobre modelagem de cadeias de suprimentos através do uso da simulação.

As pesquisas citadas endereçam diversas questões relacionadas à logística e a cadeia de suprimentos, tanto a nível estratégico quanto no nível tático e operacional.

O comportamento dos níveis de estoques dos elos da cadeia mediante a adoção de diferentes políticas de ressuprimento é um dos muitos objetos de estudo abordado pela técnica da simulação computacional.

Componente dominante do custo das empresas, os custos de manutenção de estoque podem atingir até quarenta por cento de seu valor a cada ano Ballou (2006), dessa forma manter um volume de inventário baixo e ao mesmo tempo atender a demanda é sinônimo de uma cadeia de suprimentos eficiente e lucrativa.

Pode-se aplicar diferentes metodologias para a gestão de estoque, entre as mais comuns encontradas na literatura estão a gestão de estoque por revisão contínua e gestão de estoque por revisão periódica (CHRISTOPHER, 2011; SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI E., 2007; BALLOU, 2006; CHOPRA; MEINDL, 2003).

As políticas de ressuprimento procuram equacionar da melhor forma o conflito que existe entre minimizar os custos de manutenção do estoques e oferecer alta disponibilidade de forma a satisfazer a demanda do cliente (PEIXOTO; PINTO 2006).

A simulação neste contexto oferece uma excelente metodologia de aprendizado ativo, pois estimula as capacidades cognitivas do indivíduo a respeito da complexidade de se gerir estoques mesmo em cadeia de suprimentos relativamente simples. Desta forma ilustra-se de maneira quase instantânea as consequência de suas estratégias, sem a angústia típica de cometer erros quando se lida com um sistema real (SIDDIQUI; KHAN; AKHTAR, 2008).

Existem trabalhos publicados na literatura científica que tratam da modelagem de políticas de gestão de estoque através da simulação e os efeitos

observados no desempenho da cadeia de suprimentos, especialmente quando a cadeia é submetida à natureza estocástica da demanda e do *lead time*.

Contudo para sua utilização é necessário o acesso ao código-fonte, prévio conhecimento para operar pacotes de simulação comerciais e familiaridade com as especificidades da linguagem de programação do simulador, que pode variar dependendo do pacote utilizado. Além disso, a utilização destes pacotes pela comunidade acadêmica é restrita devido ao altíssimo custo de aquisição.

## 1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Desenvolver um protótipo de software independente que permita modelar as políticas de estoque dos elos de uma cadeia de suprimentos de tamanho escalar, que suporte demanda e *lead time* estocásticas, através da técnica de simulação computacional.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se alcançar o objetivo principal proposto, são necessários os objetivos específicos enumerados adiante:

- a) Identificar os parâmetros de entrada configuráveis pelo usuário para as diferentes entidades da cadeia de suprimentos, composta por loja, centro de distribuição e fábrica;
- b) Implementar e validar os métodos de gestão de estoque por revisão contínua e revisão periódica;
- c) Implementar e validar os diferentes métodos de previsão por médias móveis, amortecimento exponencial simples, amortecimento exponencial duplo;
- d) Demonstrar o efeito chicote;
- e) Definir e validar as distribuições utilizadas para emular o comportamento da demanda e do *lead time*;

- f) Implementar a interface gráfica de entrada de dados para cada elemento da cadeia;
- g) Implementar interface gráfica de saída dos resultados ou conjunto de resultados configurados pelo usuário;
- h) Apresentar ao término da simulação relatório com o valor médio e o desvio-padrão das principais variáveis de interesse.
- i) Validar o comportamento integrado do software de simulação através do desenvolvimento de um *framework* que suporte o tratamento ordenado dos eventos discretos gerados por todas as entidades da cadeia de suprimentos.

A (FIGURA 1) abaixo representa o escopo definido para esta pesquisa e que será detalhado nos capítulos subsequentes.



FIGURA 1 – ESCOPO DA PESQUISA  
FONTE: O AUTOR

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Terzi e Cavaliere (2004) apontam que entre as soluções propostas para modelagem de cadeias de suprimentos por meio da simulação computacional uma

minoria faz uso de linguagens de programação de propósito geral como C++, Visual Basic ou Java, sendo mais comumente utilizados ambientes de caras plataformas de simulação comerciais como, por exemplo, ARENA, ModSim, Supply Solver entre outros.

Por outro lado as simulações conhecidas como de jogos de empresa, jogos de negócios, jogos gerenciais, simulação empresarial, simulação de gestão, gestão simulada ou simulação gerencial Marion José e Marion Arnaldo (2006) são desenvolvidos sem a necessidade de um ambiente específico de simulação.

Machado, Campos e Ferreira (2005) em estudo comparativo dos principais jogos de empresas aplicados à logística encontrados na literatura concluem que entre jogos existentes, apenas dois suportavam variáveis com incertezas, limitados a uma configuração fixa. Entretanto, nenhum jogo de empresa avaliado modelou a demanda representando o cliente final na cadeia de suprimentos. Em sua análise, os autores justificam esta ausência argumentando que tal modelamento é complexo devido à sua natureza estocástica.

Portanto os simuladores do tipo jogos de empresas propostos na literatura possuem certa limitação, pois se tratam de uma simplificação de um modelo real de empresa e muitas variáveis estão ausentes ou simplificadas para um comportamento determinístico (MARION J.; MARION A., 2006).

Perde-se nesta simplificação uma das características mais poderosas dos ambientes de simulação comercial de eventos discretos, que é permitir a obtenção de uma estatística válida do desempenho de sistema através da captura dos efeitos causados pela natureza estocástica de suas entradas (SWEETSER, 1999).

Dessa forma, existe atualmente no contexto acadêmico oportunidade para o desenvolvimento e implementação de um modelo de cadeia de suprimentos, utilizando a técnica de simulação computacional, contendo simultaneamente as seguintes características:

- a) Emular o comportamento estocástico da demanda e do *lead time* por meio de distribuições estatísticas;
- b) Modelar políticas de gestão de estoque de revisão contínua e de revisão periódica para cada elo da cadeia;
- c) Oferecer um alto grau de configuração, tanto na entrada de dados quanto no cruzamento dos resultados;



- d) Ser independente de qualquer biblioteca ou plataforma de simulação comercial para a sua execução;
- e) Não necessitar de conhecimentos de programação para sua operação.
- f) Ser livre e gratuito, e de instalação trivial.

Tal aplicativo poderá permitir ao usuário configurar políticas de estoques em cadeias de suprimentos relativamente complexas, sem dependência de ambiente externo e com características funcionais semelhantes aos ambientes comerciais de simulação.

A sua utilização permitirá, por exemplo, auxiliar o usuário no entendimento do efeito da variabilidade do *lead time* na degradação do nível do serviço ao cliente, cuja consequência pode resultar até em uma ruptura do estoque. O usuário também terá a oportunidade de comparar o desempenho de diferentes políticas de gestão de estoque e métodos de previsão de demanda para os mesmos perfis de demanda ou de *lead time*.

#### 1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Devido ao tempo necessário para o desenvolvimento de um modelo de cadeias de suprimentos utilizando a técnica de simulação de eventos discretos algumas premissas foram adotadas para simplificar o esforço de desenvolvimento:

- a) A cadeia de suprimentos será escalar suportando o número máximo de vinte unidades por entidade;
- b) A entidade fábrica terá capacidade infinita, logo não haverá ruptura de estoque, entretanto seu *lead time* será estocástico;
- c) O comportamento do estoque será simulado operando sobre um único produto;
- d) O custo de aquisição será o mesmo para o mesmo tipo de entidade.

Não é escopo desta pesquisa desenvolver modelos de geração de números randômicos nem de algoritmos que gerem distribuições de probabilidade, uma vez que existem várias bibliotecas *open-source* disponíveis para a geração dessa massa de dados. Entretanto, a massa de dados gerada terá a aderência à suas respectivas

distribuições de probabilidade validada mediante ferramentas estatísticas Statgraphics, Minitab e SPSS.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este projeto é composto, além desta introdução, de uma revisão de literatura presente no capítulo 2, de uma descrição do material e dos métodos a serem utilizados no capítulo 3, dos resultados esperados no capítulo 4 e a conclusão no capítulo 5.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CADEIAS DE SUPRIMENTOS

As cadeias de suprimentos são redes formadas por elementos que abrangem todas as atividades relacionadas com a movimentação e a transformação de mercadorias desde o estágio da matéria-prima (extração) até o usuário final bem como o respectivo fluxo de informação, sendo ambos bidirecionais. (BALLOU, 2006; HERMANN; LIN; PUNDOOR, 2003).

As “redes logísticas”, outra denominação para cadeia de suprimentos, podem ser igualmente definidas como uma série de atividades e organizações pelas quais a matéria prima ou produto inacabado move-se ao longo desta cadeia a partir dos fornecedores até o cliente final (SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI E., 2007; WATERS, 2003).

Christopher (2011) destaca que o termo “cadeia de suprimentos” deveria na realidade se chamar de “cadeia de demandas” uma vez quem impulsiona o movimento de matérias ao longo da cadeia é a demanda e não os suprimentos. Adicionalmente o autor critica que a distribuição dos elementos da cadeia está muito mais próxima da configuração de uma “rede de suprimentos” do que de uma cadeia, pois é comum as cadeias serem formadas por múltiplos fornecedores e clientes.

Desta forma, configuração mais realista de uma cadeia de suprimentos pode ser representada pela (FIGURA 2), constituída por uma rede de parceiros que coletivamente convertem insumos ou matérias-primas em produtos acabado agregando valor em cada estágio até o cliente final.

Como exemplo de cadeia de suprimentos, pode-se citar uma montadora de automóveis, sua cadeia de suprimentos é representada no lado comprador (denominado lado *upstream*) por fornecedores de primeira camada, que podem ser empresas que montam kits ou fabricam as principais peças, dessa forma os fornecedores da segunda camada tem como clientes os fornecedores da primeira camada e assim por diante até os fornecedores primários, da mesma forma no lado vendedor (denominado lado *downstream*) seus clientes da primeira camada seriam as redes nacionais de concessionárias e os clientes da próxima camada seriam as

redes regionais até a derradeira camada que seria o cliente final (HARRISON; HOEK, 2008).

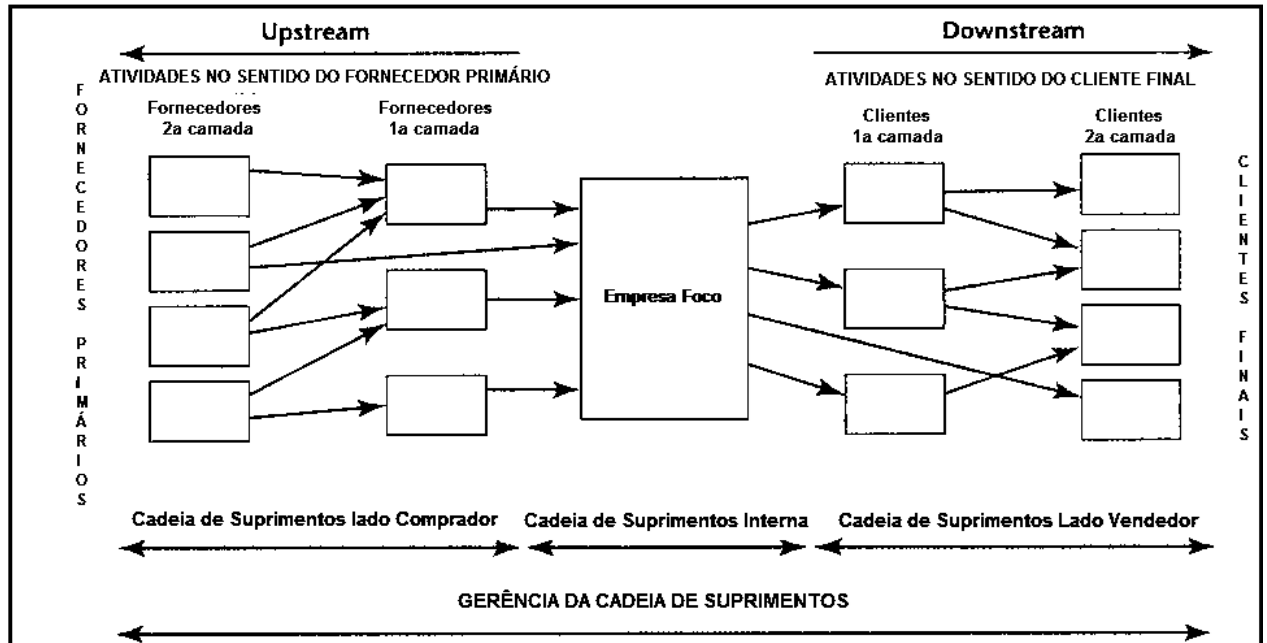


FIGURA 2 – UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS TÍPICA  
FONTE: HARRISON E HOEK (2008)

Uma cadeia de suprimentos, portanto compõe-se de três elementos (TURBAN, MACLEAN; WETHERBE, 2004):

- Cadeia de suprimentos *upstream*** : Incluem os fornecedores da empresa e os fornecedores dos fornecedores, esta relação pode ser estendida para a esquerda até a origem do material (no exemplo dado poderia ser representado pela mineradora do ferro).
- Cadeia de suprimentos interna**: Inclui todos os processos usados para transformar a matéria prima recebida dos fornecedores até o produto final que vai para distribuição, fora da empresa, portanto.
- Cadeia de suprimentos *downstream***: Todos os processos envolvidos na entrega do produto ao cliente final. Visto de uma maneira mais ampla pode-se considerar um cliente o local no qual o produto é descartado (no exemplo dado, poderia ser uma usina de reciclagem ou um ferro-velho).

### 2.1.1 A Gerência da Cadeia de Suprimentos (SCM)

A cadeia de suprimentos engloba direta ou indiretamente todos os estágios envolvidos no atendimento ao pedido do cliente, e isto não inclui apenas fornecedores, fabricantes, transportadoras, depósitos, varejistas e clientes. Envolve dentro de cada organização que constitui a cadeia de suprimentos atividades e processos tão diversos como desenvolvimento de produtos, marketing, operações, distribuição, finanças e serviço de atendimento ao cliente (SAC) entre outras.

O objetivo de toda cadeia de suprimentos é maximizar sua lucratividade, que se traduz pela diferença entre o valor do produto final para o cliente e o esforço realizado pela cadeia de suprimentos para atender o seu pedido (CHOPRA; MEINDL, 2003).

A metodologia SCM surgiu como uma resposta a este desafio, um conjunto eficiente de estratégias que integrem fornecedores, fabricantes, centros de distribuição, varejistas de tal forma que a mercadorias ou serviço seja produzido e distribuído nas quantidades corretas, para os pontos de demanda corretos e no tempo correto, minimizando os custos totais da cadeia e ao mesmo tempo satisfazendo as exigências do cliente (SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI E., 2007).

Um fator relevante apontado por Christopher (2011) trata-se da integração da cadeia de suprimentos através da metodologia SCM nas organizações geralmente obedece a uma evolução através de estágios, que podem ser descritos na (FIGURA 3) adiante.

No estágio 1 há uma completa independência entre as estratégias de cada departamento dentro da organização, por exemplo, a produção deseja otimizar os custos de manufatura através de lotes maiores sem levar em consideração o custo financeiro do aumento do nível de estoque.

O estágio 2 representa o momento no qual a empresa já reconhece que é necessário um mínimo nível de integração entre funções adjacentes como distribuição e gerência de estoque ou compras e controle de materiais.

O estágio 3 por sua vez já requer um planejamento de processos interdepartamentais que integrem a organização *end-to-end*. Finalmente o estágio 4 representa a gestão da cadeia de suprimentos através da integração colaborativa de

processos das cadeias de suprimentos *upstream* e *downstream*. A filosofia SCM pode ser entendida como uma extensão da logística aplicada internamente na organização externalizada para outras cadeias de suprimentos.

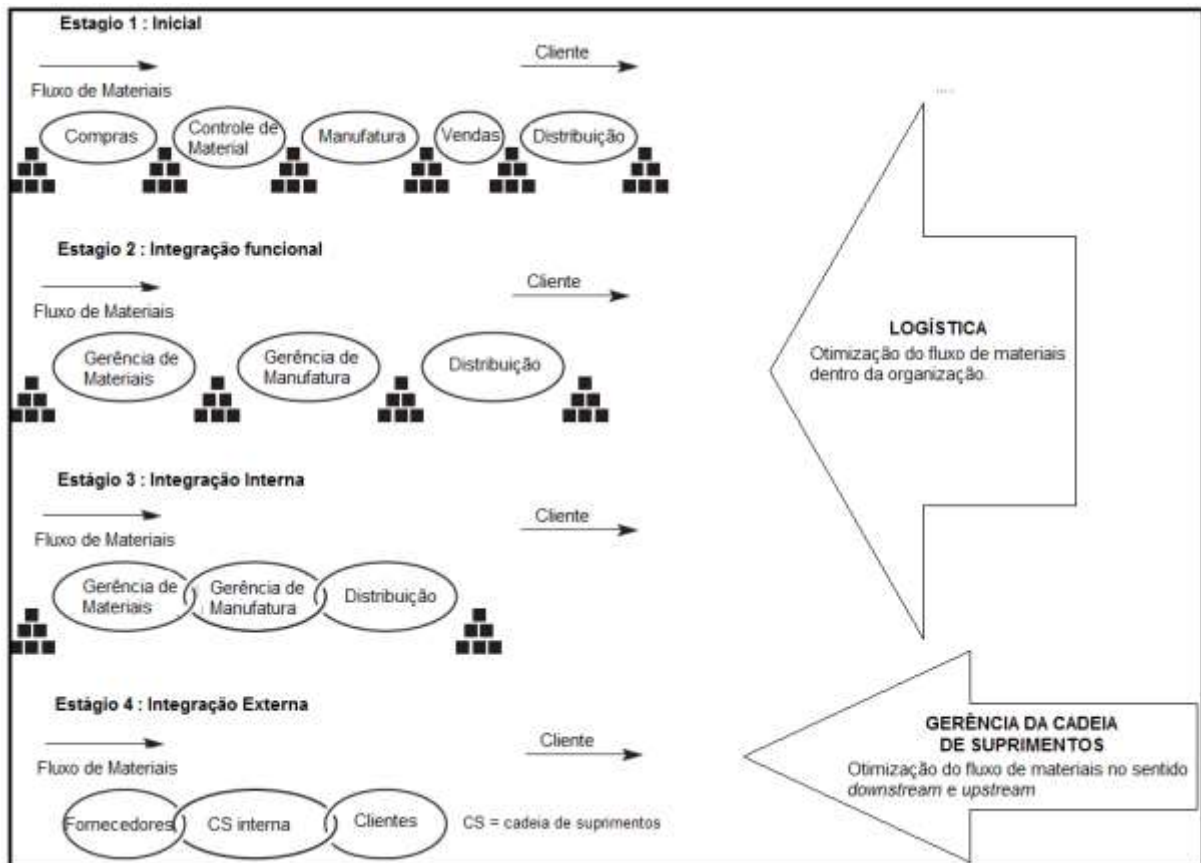


FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DA INTEGRAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS  
FONTE: ADAPTADO DE CHRISTOPHER (2011)

As principais diferenças entre a abordagem clássica da administração e a visão proposta pela metodologia SCM são sintetizadas no (QUADRO 1) a seguir.

Deve-se observar que a integração entre as empresas que compõem a cadeia de suprimentos não se traduz apenas pela minimização de custos de transporte ou na redução de níveis de estoque.

A metodologia proposta pelo SCM é um conceito mais abrangente porque se trata da definição de políticas organizacionais tanto no nível estratégico quanto no nível tático e operacional. Este rearranjo organizacional resulta em uma redução das fronteiras entre as empresas, misturando-se com clientes e fornecedores.

Como consequência, torna-se difícil visualizar com clareza onde cessa a cooperação e inicia-se a concorrência (SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI E., 2007; WOOD; ZUFFO, 1998).

ELEMENTO	ADMINISTRAÇÃO TRADICIONAL	SCM
Gestão de Estoque	Esforços independentes em cada elo da cadeia	Esforço conjunto para redução de estoque em todo o canal
Custo Total	Minimizar os custos individualmente em cada elo da cadeia	Redução de custos com foco na redução do custo total da cadeia
Horizonte de tempo	Curto prazo	Longo prazo
Compartilhamento da Informação e medição	Limitado ao escopo da transação atual	Conforme exigido pelos processo de planejamento e medição
Quantidade de coordenação de multiples níveis no canal	Contato único por transação entre pares do canal	Contatos múltiplos entre os níveis da organização e níveis do canal
Planejamento conjunto	Por transação	Contínua
Largura da base da cadeia	Larga para aumentar a competição entre seus elementos e diluir riscos	Pequena para aumentar coordenação
Lider do canal	Não necessário	Necessário para manter foco na coordenação
Quantidade de riscos compartilhado e recompensas	Tratado separadamente	Riscos e recompensas compartilhados a longo prazo
Velocidade das operações, informações e níveis de estoque	Filosofia orientada a depósitos (armazenagem, estoques de segurança), localizada entre os pares do canal	Filosofia orientada a centros de distribuição, sem estoques intermediários (JIT), rápida resposta através do canal
Compatibilidade entre filosofias corporativas entre os elementos do canal	Não relevante	Deve haver compatibilidade ao menos nos relacionamentos chaves

QUADRO 1 - ADMINISTRAÇÃO TRADICIONAL X SCM  
FONTE: VRIJHOEF e KOSKELA (2000)

### 2.1.2 Desempenho da Cadeia de Suprimentos

A dimensão da importância em otimizar o desempenho das cadeias de suprimentos pode ser ilustrado pelos números da indústria americana de supermercados, em 1992 o faturamento estimado era de 300 bilhões de dólares. Entretanto, cerca de um terço deste valor encontrava-se na forma de estoques, em sua maioria improdutivos, presos nos elos intermediários de suas cadeias de suprimentos.

As principais causas destes desperdícios podem ser atribuídas a falhas na coordenação entre os membros da rede logística e a sua incapacidade de entender e prever a demanda ( FISHER, 1997; FULLER; O'CONNOR; RAWLINSON, 1993).

Simchi-Levi D., Kaminsky e Simchi-Levi E. (2007) atribuem a dificuldade de se adequar a melhor estratégia integrada em razão dos objetivos individuais conflitantes existentes entre as empresas participantes da cadeia de suprimentos, o

que naturalmente dificulta a coordenação em torno de uma política comum. Igualmente as fontes de incertezas da demanda e do *lead time* implicam grandes riscos financeiros às organizações, pois comprometem com determinados níveis de demanda previstos e não realizados.

Uma das principais causas ofensoras do mau desempenho das cadeias de suprimentos pode ser atribuída à dificuldade de se compatibilizar o tipo de cadeia de suprimentos ao qual a organização pertence e as características de sua demanda (FISHER, 1997).

Chopra e Meindl (2003), Lee (2002), Fisher (1997) classificam cadeias de suprimentos em dois grupos, cuja característica principal de diferenciação é a velocidade de reação da cadeia a uma variação repentina da demanda:

- a) Cadeias de Suprimentos Responsivas: Flexíveis à mudança das necessidades do cliente, utilizam da estratégia da customização em massa para atender a exigências específicas de seus clientes, garantindo que a diversidade de produtos seja compatível com as necessidades de compra de seu mercado;
- b) Cadeias de Suprimentos Eficientes: Buscam otimizar os custos ao longo da cadeia. Eliminação de desperdícios, economia de escala, técnicas de otimização para obter os melhores resultados em capacidade e distribuição e compartilhamento da informação são as estratégias empregadas para buscar a máxima eficiência em custos.

Ações bem sucedidas no sentido de diminuir o custo total de uma cadeia de suprimentos (processo eficiente) que atende uma demanda com alto grau de incerteza (demanda inovadora) não resultam em um aumento da eficácia. Estes mesmos investimentos dariam muito mais retorno em ações que reduzam o *lead time* (processo responsivo) e consequentemente o tempo de resposta frente à variabilidade da demanda (FISHER, 1997).

Chopra e Meindl (2003) observam que não é suficiente apenas que a cadeia de suprimentos desempenhe suas atividades com sucesso, é necessário que a estratégia adotada para sua operacionalização esteja sintonizada com estratégia competitiva da organização.

Os autores afirmam que é a estratégia competitiva que define o conjunto de necessidades do consumidor que a empresa pretende atender e, portanto todas as funções essenciais (Desenvolvimento de Produtos, Marketing/Vendas, Manufatura,



Distribuição, Serviço) e de suporte (Finanças, Contabilidade, RH, TI) devem desenvolver suas estratégias alinhadas com este escopo. Logo o mesmo raciocínio deve ser aplicado para a gestão da cadeia de suprimentos (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Merschmann e Thonemann (2011) destacam que apesar do relacionamento entre incerteza da demanda, flexibilidade e desempenho para sistemas de manufatura possuir extensa literatura, existem carência de estudos de campo relacionando estes fatores para cadeias de suprimentos, sendo na sua maioria estudos conceituais como Fisher (1997) e Lee (2002).

Os autores realizaram pesquisa de campo envolvendo oitenta e cinco empresas alemãs, utilizando questionário e análise estatística. O resultado da pesquisa encontrou fortes evidências indicando que as organizações que compatibilizam a flexibilidade de suas cadeias de suprimentos com o grau de incerteza de suas demandas são mais lucrativas que as empresas que não adequam suas cadeias de suprimentos com a necessidade de seus clientes.

### 2.1.3 Áreas Funcionais de Uma Cadeia de Suprimentos

A determinação do desempenho de uma cadeia de suprimentos está relacionada com a coordenação de várias áreas funcionais. Bowersox e Closs (2010) definem estas áreas como: Projeto de Rede, Informação, Transporte, Estoque e Armazenagem, Manuseio de Materiais e Embalagem.

Ballou (2006) classifica as áreas funcionais como Nível de Serviço ao Cliente, Localização das Instalações, Decisões sobre Estoques, Decisão sobre Transportes.

Neste trabalho adota-se a abordagem de Chopra e Meindl (2003) que identificam os fatores-chave para o desempenho de uma cadeia de suprimentos como: Estoque, Transporte, Instalações (para onde ou de onde o estoque é movimentado) e Informação.

Na (FIGURA 4) a seguir enfatiza-se a importância do alinhamento entre a estratégia competitiva e a estratégia definida para a cadeia de suprimentos. Determina-se qual foco deve ser aplicado na tomada de decisão em cada área

funcional, no sentido de uma cadeia de suprimentos mais responsiva ou mais eficiente.

Tal alinhamento, porém pode não ser trivial já que vários obstáculos existem no caminho, tais como a intensa competição, ciclos de vida de produto cada vez mais curtos, produtos segmentados, clientes cada vez mais exigentes.

Adiciona-se a estas dificuldades a fragmentação das cadeias de suprimentos, cada vez mais horizontalizadas, além do componente humano dentro das empresas, uma vez que há necessidade do comprometimento de todos os funcionários para mantê-la competitiva. Logo gerenciar a cadeia de suprimentos de forma a superar estas múltiplas barreiras torna-se um diferencial competitivo relevante (CHOPRA; MEINDL, 2003; CONTADOR, 1995).

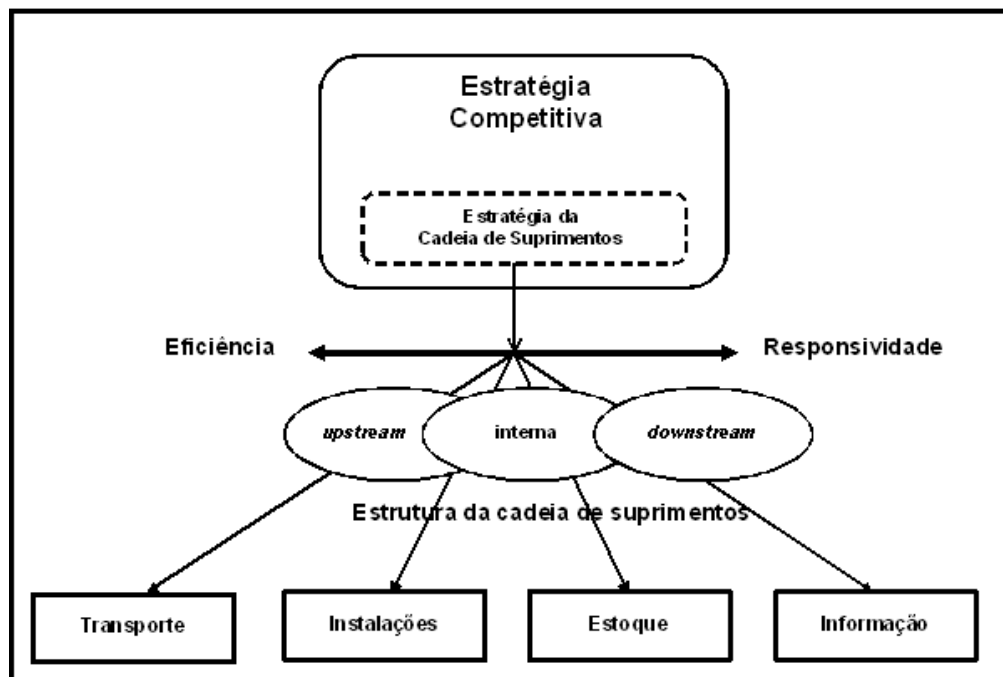


FIGURA 4 – TOMADA DE DECISÃO EM UMA CS ALINHADO COM A ESTRATÉGIA COMPETITIVA

FONTE: ADAPTADO DE CHOPRA E MEINDL (2003)

### 2.1.3.1 Estoque

Pode-se afirmar que a razão principal de existir de uma cadeia de suprimentos é compatibilizar a demanda de um produto com a sua oferta, porém devido à natureza estocástica da demanda, tal objetivo torna-se muito difícil sem a existência de estoques, já que o tempo para comprar os insumos, fabricar e entregar

o produto geralmente é maior que o cliente está disposto a aceitar (CHRISTOPHER, 2011).

Segundo Chopra e Meindl (2003), a gestão de estoque deve maximizar tal compatibilidade fundamentada na estratégia competitiva da empresa.

Destacam os autores que é importante para a organização definir qual será seu ponto de equilíbrio no eixo responsividade-eficiência de forma que os níveis médios de estoque ao longo da cadeia de suprimentos sejam compatíveis com o tipo de demanda que a organização pretende atender.

#### *2.1.3.2 Transporte*

Bowersox e Closs (2010) afirmam que as questões, como por exemplo que modal utilizar, se a organização deve utilizar frota própria ou terceirizada, que volume transportar, etc. influem na velocidade de atendimento ao cliente, no custo e na confiabilidade do transporte em uma cadeia de suprimentos.

Devem-se definir estas escolhas de forma coerente com a estratégia competitiva adotada pela organização.

#### *2.1.3.3 Instalações*

Denominam-se instalações de uma cadeia de suprimentos para onde ou de onde o estoque é movimentado, no seu interior o estoque pode ser transformado em outro estágio semiacabado ou produto final (fabricação) ou simplesmente armazenado para ser posteriormente despachado para o próximo elo da cadeia. Fábricas, armazéns, instalações de *cross-docking*, centros de distribuição e lojas de varejo constituem típicas instalações logísticas (BOWERSOX; CLOSS, 2010; CHOPRA; MEINDL, 2003).

O dimensionamento destas instalações devem ser guiadas pela maximização da lucratividade, que se dá através da compatibilização entre o perfil da demanda a ser atendida e o grau de responsividade e eficiência adotado na

gestão da cadeia de suprimentos (BOWESOX; CLOSS, 2010; BALLOU, 2006; CHOPRA; MEINDL, 2003).

#### 2.1.3.4 Informação

A integração dos elos das cadeias de suprimentos tem sido acelerada pela constante necessidade de se atualizar as operações de forma a satisfazer as necessidades dos clientes, cada vez maiores devido à concorrência imposta pela globalização. Desta forma os executivos das organizações se mostram mais dispostos a aumentar os orçamentos de seus departamentos de Tecnologia da Informação (TI), investindo intensivamente em sistemas de *software* e *hardware* (TURBAN; MACLEAN; WETHERBE, 2004).

Esta infraestrutura oferecida pela informática permite que o fluxo de informações trafegue praticamente em tempo real, e seja compartilhada por todos os membros da cadeia. O seu compartilhamento permite a coordenação de ações direcionadas para o aumento total da lucratividade da cadeia de suprimentos. (CHOPRA; MEINDL, 2003).

#### 2.1.4 Indicadores de Desempenho de Cadeias de Suprimentos

Segundo Bourne *et al.* (2003) medir o desempenho de uma organização não tem mais seu escopo limitado a quantificar a eficácia de ações tomadas com o objetivo de satisfazer as exigências do cliente e a sua eficiência em atender estas exigências a um custo econômico. A literatura científica está indicando a existência de um conceito mais amplo que também abrange:

- a) A utilização de medidas multidimensionais, de cunho financeiro e não financeiro, interna ou externa, que quantificam o que foi atingido e também auxiliam a estimar cenários futuros;
- b) Aumento da inclusividade, métricas são válidas quando utilizados em conjunto com uma estrutura no qual a eficácia e a eficiência das ações possam ser avaliadas. É cada vez mais consensual dentro das organizações que as métricas de desempenho devem ser

desenvolvidas no nível estratégico;

- c) Sendo parte integral dos sistemas de planejamento e controle da organização, as medições de desempenho e os atos resultantes irão influenciar o comportamento de pessoas ou grupos que a compõem;
- d) Consideram o impacto de ações sobre as partes interessadas das organizações (*stakeholders*), portanto além da satisfação do cliente apenas.

Nelly, Gregory e Platts (2005) propõem uma taxonomia na tentativa de classificar as métricas de desempenho, definindo quatro grandes grupos que focam nos seguintes aspectos organizacionais: Custo, tempo, flexibilidade e qualidade.

Beamon (1999) argumenta que dada a diversidade de métricas existentes, selecionar um conjunto apropriado para as medidas de desempenho de sistemas grandes e complexos como cadeia de suprimentos é uma tarefa de grande dificuldade. O que medir ? Como múltiplas medidas individuais podem ser integradas em um sistema de desempenho? O quão frequentemente deve ser medido? Quando tais medições precisam ser reavaliadas?

Todas estas questões precisam ser endereçadas, uma vez que não é possíveis para a organização, dadas as características específicas inerentes a cada sistema, adotar um modelo genérico de medição de desempenho.

A autora ainda destaca que um sistema de medição de desempenho, deve atender as seguintes características:

- a) Inclusividade: Deve medir todos os aspectos de interesse;
- b) Universalidade: Deve permitir comparações em diferentes condições de operação;
- c) Mensurabilidade: Dados exigidos são mensuráveis;
- d) Consistência: Devem ser aderentes aos objetivos da organização.

Além disso, tais sistemas de medição de desempenho devem oferecer a organização capacidade de comparar suas operações com as dos concorrentes ou de empresas de vanguarda em setores correlatos e não correlatos. Esta técnica é conhecida como *benchmarking* (BOWERSOX; CLOSS, 2006).

No caso específico de cadeias de suprimentos, Gunasekaran, Patel e Tirtiroglu (2001) concluem que o desbalanceamento entre o uso de variáveis financeiras e operacionais e a falta de uma clara distinção entre métricas

estratégicas, táticas e operacionais são as principais causas que contribuem contra sua gestão eficiente e integrada.

Outra severa limitação apontada por Beamon (1999) está no atendimento do critério da inclusividade (deve incluir todos os aspectos de interesse).

O autor exemplifica esta limitação utilizando o custo, uma medida de desempenho amplamente utilizada em cadeias de suprimentos. Contabilizado de forma isolada a sua mensuração pode indicar um valor ótimo de custo mínimo, ao mesmo tempo a cadeia de suprimentos pode apresentar um baixo nível de responsividade a mudanças da demanda ou um nível de serviço insatisfatório.

Simatupang e Sridharam (2002) igualmente alertam que medições locais e isoladas contêm pouca ou nenhuma eficiência para orientar estratégias de maximização da rentabilidade global da cadeia de suprimentos.

A organização deve dispor de um modelo, proposto pelos autores e descrito na (FIGURA 5) adiante, que conecte o desempenho global da cadeia com os diferentes níveis de tomada de decisão entre seus membros individuais.

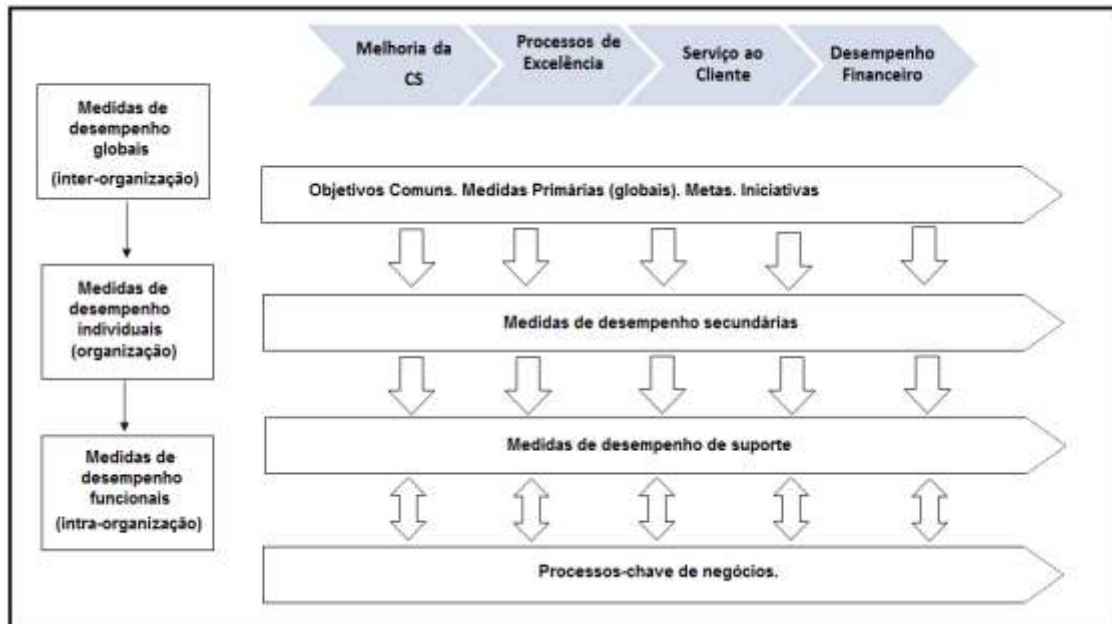


FIGURA 5 – LÓGICA CAUSA- EFEITO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO EM UMA CS  
FONTE: ADAPTADO DE SIMATUPANG E SRIDHARAN (2002)

Com o compartilhamento a respeito dos objetivos comuns, de como a estratégia geral se relaciona com seus processos individuais, será possível então medir a contribuição relativa de cada membro para o desempenho geral da cadeia.

Beamon (1998) classifica as medidas de desempenho mais importantes para cadeias de suprimentos em dois grandes grupos: Medidas de desempenho qualitativas e quantitativas.

*a) Medidas de Desempenho Qualitativas*

Medidas que não são descritas ou são parcialmente descritas através de um valor numérico:

- a. Satisfação do cliente: Grau de satisfação do cliente com determinado produto ou serviço, o cliente pode ser tanto interno quanto externo. Pode ainda ser dividida em satisfação antes da transação, durante e depois da transação;
- b. Flexibilidade: Grau de resposta da cadeia de suprimentos a mudanças de demanda;
- c. Integração do fluxo de informação e de materiais: Grau de integração entre todas as funções dentro da cadeia na comunicação de informação e transporte de material;
- d. Gerência efetiva de risco: Risco existe em todas as relações da cadeia, descreve o grau em que esses é mitigado;
- e. Desempenho do fornecedor: Consistência das entregas em relação a datas e qualidade do material.

*b) Medidas de Desempenho Quantitativas*

Medidas que são descritas integralmente por valores numéricos. Podem ser:

Baseadas no custo:

- a. Minimização de custos: Amplamente utilizada, custo pode ser minimizado para a cadeia inteira (custo total) ou determinado elementos da cadeia;
- b. Maximização das vendas: Maximiza o total de vendas em unidades monetárias ou unidades de produtos;
- c. Maximização dos lucros: Maximiza faturamento menos custos.
- d. Minimização dos investimentos de estoque: Minimiza os custos de estoque;
- e. Maximização do retorno sobre o investimento (ROI): Maximiza a razão do lucro líquido sobre o capital investido.

Baseadas na responsividade do cliente:

- a. Maximização da taxa de atendimento: Maximiza a fração de clientes atendidos no tempo solicitado;
- b. Minimização do atraso de entrega: Minimiza o intervalo de tempo de entre a data de entrega desejada pelo cliente e a realizada;
- c. Minimização do tempo de resposta: Minimiza o tempo necessário para processar o pedido;
- d. Minimização do *lead time*: Minimiza o tempo necessário entre fabricar o produto até o seu completo processamento;
- e. Minimização de duplicação de funções: Minimiza o número de funções de negócios realizadas por mais de uma entidade.

Medidas de desempenho qualitativa e quantitativas podem pertencer ao mesmo grupo definido pela taxonomia de Nelly, Gregory e Platts (2005), por exemplo, podem-se considerar a medida quantitativa de grau de satisfação do cliente e a quantitativa taxa de atendimento como métricas para avaliar o desempenho da qualidade.

A classificação de Beamon (1998) não extingue o tema, existem diversas propostas de criação de uma metodologia de medição de desempenho de cadeias de suprimentos encontradas na academia e que são listadas no (QUADRO 2) abaixo.

AUTOR(ES)	CARACTERÍSTICAS DO SIST. DE MED. DE DESEMP. DE CS PROPOSTO
Andersson, Aronsson e Storhagen (1989)	Focado em processos, satisfação dos clientes e medição financeira.
Van Hoek (1998)	Medidas relacionadas a custos logísticos, atendimento aos clientes, flexibilidade e nível de comprometimento na cadeia de suprimentos.
Beamon (1999)	Focado na medição de processos básicos, flexibilidade, satisfação dos clientes e financeira. Classifica as métricas em recursos, de saída, e métricas de flexibilidade.
Geary e Zonnenberg (2000)	Medidas relacionadas ao desempenho financeiro, flexibilidade e atendimento aos clientes.
Holmberg (2000)	Proposta de um sistema de medição de desempenho holístico para a gestão da cadeia de suprimentos. Mais relacionado à estrutura de um sistema de medição para a gestão da cadeia.

QUADRO 2 – SISTEMAS PROPOSTOS DE MED. DE DESEMP. PARA CS  
 FONTE: ADAPTADO DE FREDERICO E MARTINS (2012)

(CONTINUA)



AUTOR(ES)	CARACTERÍSTICAS DO SIST. DE MED. DE DESEMP. DE CS PROPOSTO
Brewer e Speh (2000)	Baseado no Balanced Scorecard e tem medidas ligadas ao valor oferecido aos clientes, nível de serviços, colaboração, custos, processos e parceria na cadeia de suprimentos.
Pires e Aravechia (2001)	Medidas focadas na satisfação dos clientes, processos básicos, flexibilidade e financeira.
Gunasekaran, Patel e Tirtiroglu (2001)	Foco na medição dos processos da cadeia, desempenho financeiro, nível de serviço aos clientes. Classifica as métricas em estratégicas, táticas e operacionais (financeiras e não financeiras). Flexibilidade e iniciativas de parcerias na cadeia.
Chan et al. (2003)	Sistema de medição de desempenho que considera uma estrutura desdobrada em processos e subprocessos de acordo com as principais áreas de uma cadeia de suprimento. Mais relacionado à estrutura de um sistema de medição de desempenho para a gestão da cadeia.
Bhagwat e Sharma (2007)	Focado em processos, desempenho financeiro, nível de serviço, flexibilidade e parcerias. Baseado na estrutura do Balanced Scorecard.
Supply-Chain Council (2008)	Baseado nos quatro processos do modelo do Supply Chain Operations Reference (SCOR) – (planejar, adquirir, produzir e atender). Segue os atributos de responsividade, agilidade, confiabilidade, custos e recursos.
Sellitto e Mendes (2006)	Metodologia baseada no modelo SCOR de referência de gestão de CS, ponderada pela técnica AHP, que pondera as preferências dos decisores, de forma a refletir a situação atual da cadeia segundo o julgamento dos decisores.

QUADRO 2 – SISTEMAS PROPOSTOS DE MED. DE DESEMP. PARA CS (CONTINUAÇÃO)  
 FONTE: ADAPTADO DE FREDERICO E MARTINS (2012)

Estas técnicas buscam oferecer aos gestores uma ferramenta que meça com mais acurácia a distância entre as metas globais que devem ser atingidas, definidas por sua estratégia competitiva, e o desempenho real de uma cadeia de suprimentos.

### 2.1.5 Políticas de Gestão de Custos de Estoque

A existência de estoques em cadeias de suprimentos tem como objetivo a atender três finalidades (Machline, 1981):

- Operação: Consequência natural da operação produtiva, uma vez que, na maioria das vezes, ninguém ajusta uma máquina para produzir somente uma peça, produz-se em lotes, o excedente ao pedido é transferido para o estoque;
- Precaução: Estoques que são criados para mitigar aumentos não

previstos na demanda ou atrasos no fornecimento de insumos ou matérias primas. O seu volume é proporcional ao nível de serviço que se deseja atender;

- c) Especulação: Estes estoques são criados para se auferir vantagens econômicas durante futuras oscilações de preços dos produtos estocados. Por exemplo, estoques reguladores criados pelas autoridades para evitar baixas prejudiciais do preço de commodities ou compras antecipadas para prevenção de aumentos iminentes de preços.

Conforme pode-se observar na (FIGURA 6), Arnold, Chapman e Clive (1998) classificam os estoques em três grupos, relacionados com a localização do ponto de fluxo de materiais ao longo da organização:

- a) Matéria-prima: Materiais que foram adquiridos pela organização, mas ainda não entraram no processo produtivo. Podem ser insumos, componentes, ou kits de montagem;
- b) Material em processo (WIP): Matéria-prima em processamento ao longo do processo produtivo, mas que ainda não é o produto final;
- c) Bens acabados: Produtos prontos para a comercialização ou para estocagem na própria fábrica ou em centros de distribuição.

Apesar dos benefícios associados a sua existência, é caro para a organização mantê-los. Calcula-se em cerca de 20% do valor médio de estoque o seu custo de manutenção.

Pode-se definir custo de manutenção os custos que envolvem o uso do espaço, do capital para adquiri-lo, contratação de serviços de estocagem, seguros, os custos de deterioração ou obsolescência (BALLOU, 2006).

No caso de cadeias de suprimentos torna-se imperativo, no sentido de otimizar a rentabilidade global, determinar o equilíbrio entre os níveis de estoque ao longo dos elos da cadeia e nível de atendimento da demanda desejado.

Uma política de estoque ao ser adotada deverá levar em consideração vários fatores entre eles (SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2007):

- a) Previsão da demanda, ao utilizarem-se as técnicas mais adequadas para sua estimativa;
- b) O tempo de ressuprimento, que pode ser indefinido ou conhecido;

- c) O número de diferentes produtos a serem considerados por cada política, uma vez que competem pelo mesmo espaço;
- d) O tempo de planejamento (curto, médio, longo-prazo);
- e) Os custos de manutenção;
- f) O nível de atendimento desejado e aceitável, na presença de incertezas é impossível atender 100% da demanda.

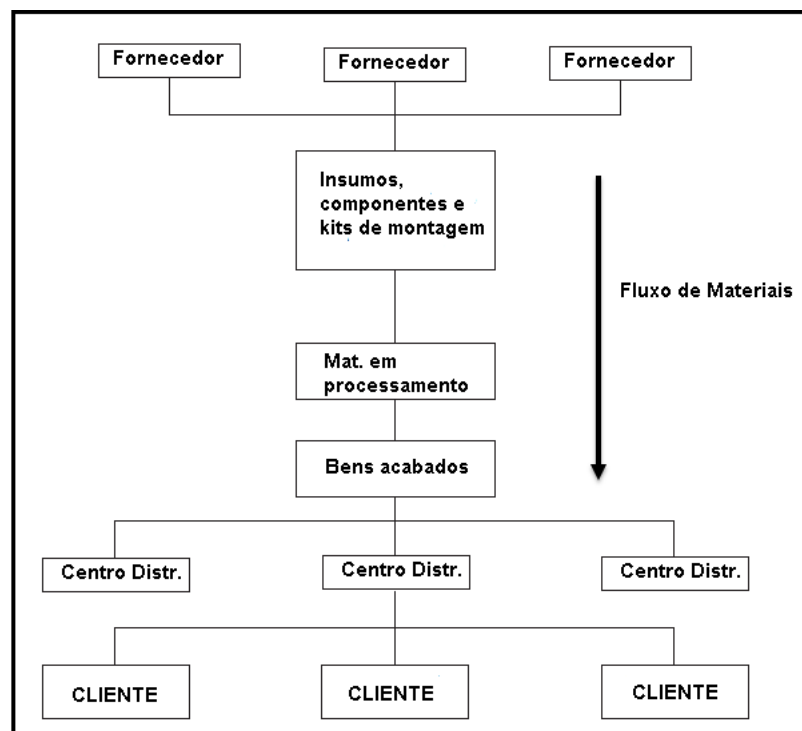


FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DOS ESTOQUES  
 FONTE: ADAPTADO DE ÁRNOLD, CHAPMAN E CLIVE (1998)

Devem-se levar em consideração outros fatores na composição dos custos totais de estoques, além do custo de manutenção.

O custo do material por unidade de produto, que pode ser menor à medida que se aumenta o volume do pedido ao fornecedor.

O custo fixo ou custo de aquisição de cada pedido, que são custos administrativos associados ao processamento do pedido (emissão da nota, preparação, separação e manuseio do material) e os seus custos de transporte (BALLOU 2006; CHOPRA; MENDL, 2003). Pode-se avaliar a evolução destes custos em função do tamanho do lote Q na (FIGURA 7) a seguir.

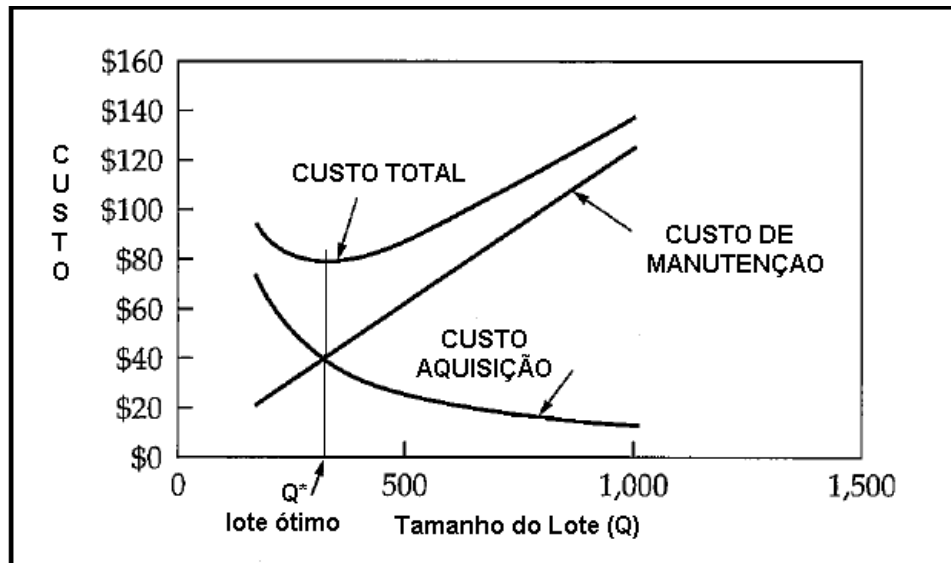


FIGURA 7 – O CUSTO TOTAL DE ESTOQUE EM FUNÇÃO DOS CUSTOS PARCIAIS  
 FONTE: ADAPTADO DE SIMCHI-LEVI D., KAMINSKY E SIMCHI-LEVI E. (2007)

Aumentando-se o tamanho do lote, é necessário fazer menos pedidos ao longo de um intervalo de tempo, diminuindo a sua influência no custo total, porém há neste caso uma penalização pois com volumes muito grandes de pedidos, o estoque médio aumenta, e conseqüentemente o seu custo de manutenção.

Ao diminuir-se o tamanho do pedido  $Q$ , temos volumes menores para o pedido, o que acaba reduzindo o estoque médio e o seu custo de manutenção, mas neste caso o impacto de custo passa a ser no custo de aquisição, devido ao maior número de pedidos que de ressuprimento que devem ser realizados ao longo do tempo.

Dessa forma, a curva resultante de custos é a soma de duas que tem direções antagônicas em seus sentidos de crescimento, o ponto de equilíbrio de custos será o ponto em que esta curva atinge o seu valor mínimo, onde se encontra o tamanho ótimo do lote a ser pedido.

Em meados da década de vinte o engenheiro de produção Ford W. Harris já afirmava em artigo publicado em fevereiro de 2013 no periódico *Factory, The Magazine of Management*, que achar a quantidade ótima do pedido era um problema enfrentado pela gestão das fábricas e geralmente a sua solução era encontrada apenas pelo senso comum e da experiência (HARRIS, 1913).

O autor propôs a seguinte equação, envolvendo o custo de aquisição e o custo de manutenção do estoque, que é utilizado como base de

cálculo de boa parte das políticas de estoque puxado, onde a demanda é a força dominante nas determinações dos níveis de estoque:

$$TC = \frac{D}{Q}S + \frac{ICQ}{2} \quad (2.1.1)$$

onde se tem as seguintes convenções:

**TC** = custo anual total de estoque

**D** = demanda anual dos produtos em Nº itens/ano

**I** = custo anual de manutenção do estoque, % do custo do estoque

**S** = custo de aquisição em unidades monetárias/pedido

**C** = custo do produto no estoque em unidades monetárias/produto

**Q** = tamanho do pedido de ressuprimento em unidades

Para achar o valor mínimo do custo total, deve-se tomar a primeira derivada da equação (2.1.1) e igualar a zero, logo (CHOPRA; MENDL, 2003):

$$\left(\frac{dTC}{dQ}\right) = -\frac{DS}{Q^2} + \frac{IC}{2} \quad (2.1.2)$$

como a derivada é igualada a zero, temos então de (2.1.2):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \quad (2.1.3)$$

A equação que determina o valor ótimo para o tamanho do lote é denominada de lote econômico do pedido (LEC), é aplicada sempre que se quer identificar a quantidade ótima de um pedido que forneça um valor mínimo de custo total, porém está sujeita a uma série de limitações (SIMCHI-LEVI D.;KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2007):

- a) Não considera natureza estocástica da demanda, e portanto gera excesso ou falta de estoque quando ela tem grandes variações;

- b) Todos os pedidos tem o mesmo valor de  $Q$ , o que pode ser restritivo caso aconteça variações bruscas de demanda;
- c) O modelo matemático considera o *lead time* do pedido o valor zero, o que é irreal na maioria dos casos.

Apesar de tais limitações a equação (2.1.3) é amplamente utilizada principalmente na gestão de estoque de produtos com um perfil estável de demanda.

O formato da curva em torno do valor mínimo de  $Q$  tem a forma de um vale suave e relativamente insensível a variações em torno do valor ótimo. Por exemplo uma variação entre  $0,64 \cdot Q_{\min}$  e  $1,56 \cdot Q_{\min}$  acrescenta apenas 10% sobre o valor de custo mínimo (WATERS, 2003).

#### 2.1.5.1 O Modelo de Revisão Contínua

O modelo da quantidade ótima de pedido ( $Q^*$ ) revelou-se inadequado para gestão de estoques, uma vez a demanda é considerada constante, o que na prática não costuma ser verdadeiro. Aumentos repentinos da demanda podem resultar na ruptura do estoque antes do recebimento do pedido de ressuprimento.

Uma das técnicas utilizadas para política de estoques, de forma a compensar essa incerteza, é o modelo de revisão contínua. É também denominado de sistemática  $Q$  e encontrado sob vários nomes na academia internacional: *continuous review model*, *reorder point policy*, *(Q,R) model*, *fixed order quantity system*, *two-bin system* (ROSA; MAYERLE; GONÇALVES, 2010).

O método da revisão contínua considera um estoque extra, chamado de estoque de segurança, do inglês *safety stock* (SS). Este pequeno aumento no estoque é considerado uma proteção contra variações inesperadas da demanda.

Apesar do corresponde aumento dos custos de manutenção do estoque, evitam-se os custos gerados por vendas perdidas e a insatisfação causada pela impossibilidade de atender o pedido no tempo desejado pelo cliente.

O valor para o pedido ótimo continua sendo  $Q^*$  definido na equação (2.1.3), porém o intervalo de ressuprimento é variável e acontece quando o estoque atinge determinada quantidade chamado de ponto de ressuprimento ou ROP (*reorder*

point). O valor do ROP é função do *lead time* do fornecedor e do estoque de segurança (WATERS, 2003):

$$ROP = f(leadtime) + SS \quad (2.1.4)$$

O gráfico da (FIGURA 8) mostra o relacionamento gráfico entre estas grandezas.

Pode-se calcular o estoque de segurança da seguinte forma, assumindo que a demanda possui uma distribuição com características gaussianas, com parâmetros média  $d$  e desvio-padrão  $s_d$  (BALLOU, 2006):

$$SS = z s_d \sqrt{LT} \quad (2.1.5)$$

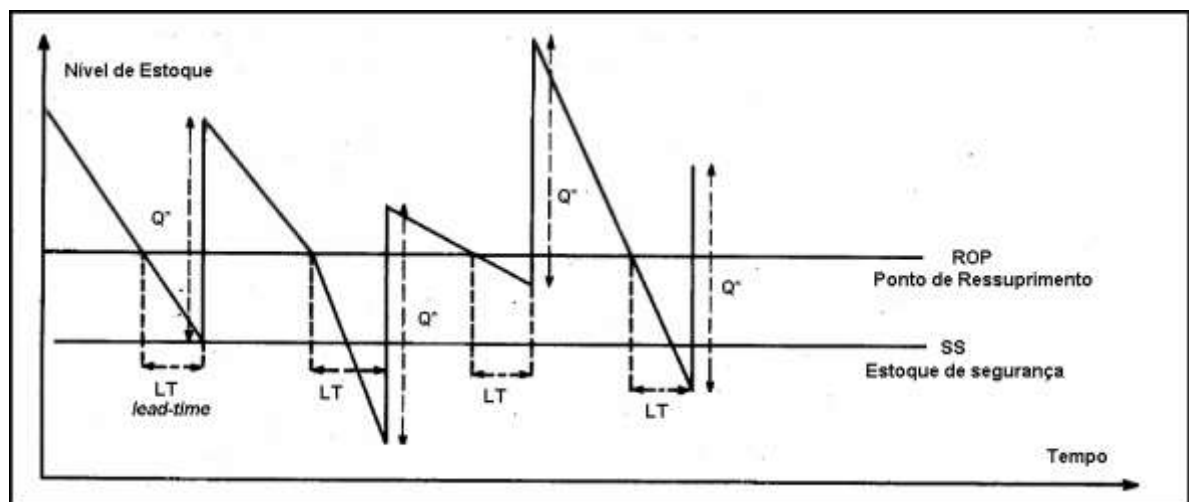


FIGURA 8 – CONTROLE DE ESTOQUE POR REVISÃO CONTINUA  
FONTE: ADAPTADO DE MACHLINE (1981)

sendo que :

$SS$  = o estoque de segurança em unidades

$s_d$  = o desvio padrão da demanda em unidades

$LT$  = o *lead time* de entrega do pedido em unidades de tempo

$z$  = é um valor tabelado em função do nível de serviço desejado de atendimento, que pode ser visualizado na (TABELA 1) a seguir.

O ROP é calculado somando-se o estoque de segurança (SS) com a demanda resultante durante o tempo de *lead time*, de forma que durante o tempo em que o pedido esteja em processamento o estoque tenha condições de atender a demanda futura, logo (BALLOU, 2006):

$$ROP = dLT + z s_d \sqrt{LT} \quad (2.1.6)$$

TABELA 1 – NÍVEL DE SERVIÇO E FUNÇÃO PERDA (LOSS) EM FUNÇÃO DE  $z$

	PORCENTAGEM DE DEMANDA ATENDIDA (NÍVEL DE SERVIÇO), FUNÇÃO PERDA x $z$										
Nível de Serviço	90,0%	91,0%	92,0%	93,0%	94,0%	95,0%	96,0%	97,0%	98,0%	99,0%	99,9%
LOSS( $z$ )	0,0465	0,0418	0,0367	0,0307	0,0261	0,0211	0,0166	0,012	0,0074	0,0035	0,003
$z$	1,29	1,34	1,41	1,48	1,56	1,65	1,75	1,88	2,05	2,33	3,08

FONTE: FONTE SIMCHI-LEVI D., KAMINSKY E SIMCHI-LEVI E. (2007)

Em muitos casos o *lead time* também contém uma componente de incerteza, de forma que essa fonte de variabilidade deve ser considerada. Assume-se que o *lead time* tenha uma distribuição de probabilidade gaussiana, logo o cálculo do estoque de segurança é modificado para a seguinte equação (SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2007):

$$SS = z \sqrt{LT s_d^2 + d^2 s_{LT}^2} \quad (2.1.7)$$

onde tem-se :

$s_{LT}$  = desvio padrão do *lead time* em unidades de tempo

$d$  = demanda em unidades por unidades de tempo

$s_d$  = o desvio padrão da demanda em unidades

$LT$  = o *lead time* de entrega do pedido em unidades de tempo

#### 2.1.5.2 O Modelo de Revisão Periódica

No modelo de revisão contínua o pedido é de tamanho fixo e o período de ressuprimento é variável, portanto é necessário um monitoramento constante dos níveis de estoque. Tal modelo é mais apropriado quando temos uma demanda irregular e baixa de produtos de alto custo (WATERS, 2003).



Outro aspecto importante que se deve considerar é quando o estoque é composto de diferentes tipos de produtos. Como os tempos de ressuprimentos podem não ser os mesmos, esse assincronismo torna-se antieconômico, devido ao número excessivo de pedidos (BALLOU, 2006).

Neste caso, é mais econômico adotar o modelo de revisão periódica, ou sistemática P, também conhecido pelos suas denominações em inglês de *periodic review model*, *periodic order model*, *(R,T) model* ou *fixed reordert cycle system* (ROSA; MAYERLE; GONÇALVES, 2010).

O período de ressuprimento é fixo com uma aproximação razoável do valor ótimo, determinado pela seguinte equação (BALLOU, 2006):

$$T^* = \frac{Q^*}{d} \quad (2.1.8)$$

onde tem-se :

$T^*$  = intervalo de revisão em unidades de tempo

$Q^*$  = a quantidade ótima do pedido em unidades do produto

$d$  = a demanda média por unidade de tempo

Calcula-se então a previsão de demanda no intervalo representado pela soma do *lead time* e o intervalo de revisão, tem-se assim:

$$M^* = d(T^* + LT) + SS \quad (2.1.9)$$

Onde tem-se SS como sendo o estoque de segurança, calculado como função da agregação da distribuição gaussiana da demanda durante o período ( $T^* + LT$ ), dado pela seguinte equação (BALLOU, 2006):

$$SS = z_{s_d} \sqrt{T^* + LT} \quad (2.1.10)$$

sendo:

$SS$  = estoque de segurança em unidades do produto

$z$  = valor em função do nível de atendimento desejado (TABELA 1)

$T^*$  = intervalo de revisão do estoque em unidades de tempo

$LT$  = lead time em unidades de tempo

$s_d$  = o desvio padrão da demanda em unidades

Igualmente no caso da revisão contínua, pode-se levar em consideração a variabilidade do *lead time* no cálculo do estoque de segurança, dessa forma a equação se modifica para Machline (1981):

$$SS = z\sqrt{(LT + T^*)s_d^2 + d^2s_{LT}^2} \quad (2.1.11)$$

O pedido será composto pela diferença entre o valor calculado de  $M^*$  e o estoque contabilizado no período de revisão  $T^*$ . A (FIGURA 9) a seguir apresenta o funcionamento do estoque no caso de revisão periódica.

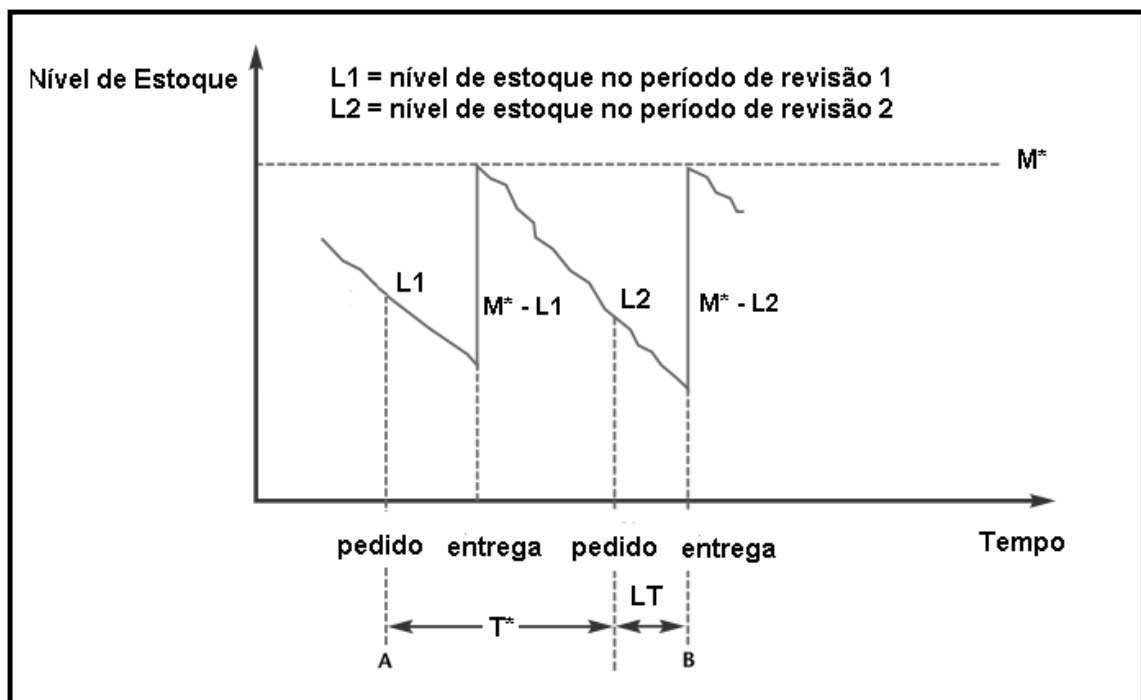


FIGURA 9 – CONTROLE DE ESTOQUE POR REVISÃO PERIÓDICA  
 FONTE: ADAPTADO DE WATERS (2003)

#### 2.1.5.3 Cálculo do Custo Total do Estoque com Incerteza de Demanda e Lead Time

Ballou (2006) apresenta a forma modificada do custo total do estoque apresentada por Harris (1913) em determinado período de tempo (por exemplo um ano), e é definida por :

$$TC = dS/Q + ICQ^*/2 + ICzs_d + \left(d/Q\right)ks_dLOSS(z) \quad (2.1.12)$$

Onde se definem os novos termos como:

$k$  = fator de custo da falta do produto em estoque, em unidades monetárias.

$LOSS(z)$  = valor padronizado da função chamada de perda normal em função do valor de  $z$ , e portanto do nível de serviço desejado (TABELA 1).

Os dois primeiros termos da equação (2.1.12) são os termos originais da equação (2.1.1) de Harris (1913). O terceiro termo representa o custo do estoque de segurança (SS), calculado pela multiplicação do valor do estoque de segurança e seu correspondente custo de manutenção (IC) por unidade de produto.

O último membro da equação é a estimativa dos custos das perdas causadas pela falta do produto em determinado período de tempo. O seu valor é calculado multiplicando-se o termo combinado  $s_dLOSS(z)$  que representa o número previsto de unidades em falta no estoque em um determinado ciclo de pedidos pelo termo  $d/Q$  que é o número de ciclos de pedidos realizados no período de tempo estabelecido.

#### 2.1.5.4 O Nível de Serviço x Gestão de Estoques

Apesar de desejado, manter um nível de serviço perfeito com 100% de atendimento é na prática impossível, devido ao aumento acima do razoável dos custos logísticos. O nível de serviço pode ser definido como a porcentagem de cumprimento de pedidos perfeitos (SCOR, 2013).

Christopher destaca que a curva de custos x nível de serviço tem um formato exponencial a medida que o nível de serviço atinge a 100%, devido ao aumento desproporcional do estoque de segurança a medida que o nível de serviço se aproxima de 100% (FIGURA 10). Pode-se perceber este comportamento na (TABELA 1), pois um aumento de apenas 10% no nível de serviço necessita-se de um estoque de segurança quase 3 vezes maior.

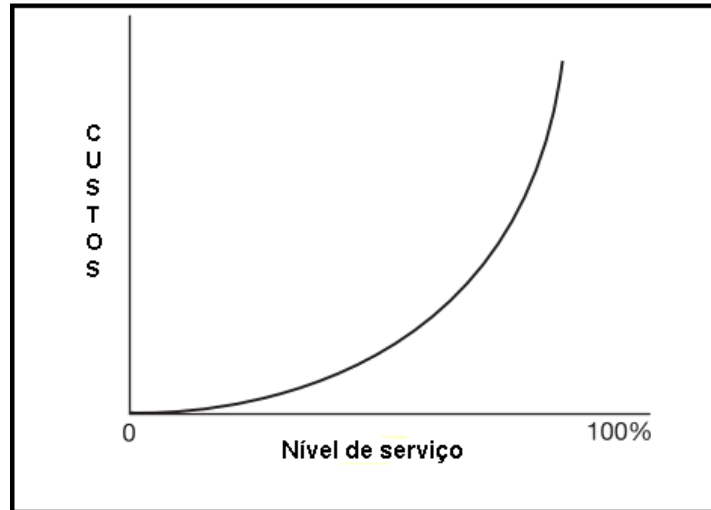


FIGURA 10 – NÍVEL DE SERVIÇO x CUSTOS  
FONTE: ADAPTADO DE CHRISTOPHER (2011)

O autor ainda destaca que os investimentos no aumento do nível de serviço do portfólio da empresa não devem ser tratados de forma igual para todos os produtos. Uma vez que os recursos para investimentos são sempre limitados, é necessário diferenciar os níveis de serviços. A organização deve avaliar tanto a demanda quanto a rentabilidade de cada produto de forma a adotar-se o nível de serviço apropriado.

No caso de produtos com baixa rentabilidade e alta demanda, focar na redução do custo logístico e do produto de forma a aumentar a rentabilidade, produtos com alta rentabilidade e demanda devem possuir os melhores níveis de serviço dentro do portfólio.

Caso não sejam estratégicos para a organização descontinuar produtos com baixa rentabilidade ou demanda é uma decisão que deve ser considerada. Por outro lado, produtos com alta rentabilidade e baixo volume devem ter seus investimentos em estoque reduzidos através de sua centralização, como a demanda não é alta, o alto nível de serviço pode ser mantido através de serviço expresso de transporte.

#### 2.1.6 Métodos para Previsão da Demanda

A previsão da demanda é fundamental para a organização planejar as estratégias de modo suprir as necessidades futuras de seus clientes. Os tempos de

*lead time* necessários para manufatura dos produtos depois da geração do pedido geralmente não são aceitáveis para o cliente.

Mesmo as empresas com regime de produção *make-to-order* devem estimar a sua demanda futura de forma a reduzir o *lead time* de sua produção planejando seus recursos para atendê-la (ARNOLD; CHAPMAN; CLIVE, 1998).

Bowersox e Closs (2010) classificam as previsões de demanda em dois grupos:

- a) Previsões Dependentes: São calculadas baseadas em uma sequência interligada de atividades de compra e de produção. Por exemplo, a montagem de um produto final como um smartphone, as necessidades de componentes eletrônicos são dependentes da previsão da demanda futura estimada para este produto.
- b) Previsões Independentes: São calculadas sem dependência com a demanda de qualquer outro item, a demanda de geladeira, por exemplo, tem relação desprezível ou nenhuma relação com a demanda de leite.

Não há necessidade de estimar demandas dependentes uma vez que seus valores são funções da previsão do item independente.

A demanda por sua vez apresenta os seguintes componentes, que podem influenciar o desempenho da técnica de previsão selecionada (BOYER; VERMA, 2009; CHOPRA; MEINDL, 2003; ARNOLD; CHAPMAN; CLIVE, 1998):

- a) Nível: É uma constante que determina o valor médio da demanda ao longo de determinado período de tempo descontado a sazonalidade;
- b) Tendência: A (FIGURA 11) abaixo mostra um aumento monotônico da demanda, ou seja, uma tendência. A tendência pode ser constante ao longo do período, podendo ser positivas ou negativas, ou sofrer variação ao longo de determinado período (a tendência acelera, desacelera ou até mesmo inverte o sentido);
- c) Sazonalidade: São flutuações da demanda ao longo de determinado período, por exemplo, durante o ano a demanda de ventiladores sofre um aumento natural nos períodos do ano de maior calor;
- d) Ciclicidade: Similar a componente sazonal, porém sua periodicidade é muito maior, podendo levar vários anos. Seus fatores causadores são

de difícil identificação, podem ser econômicos, culturais, ou eventos como uma guerra por exemplo;

- e) Variação aleatória: Variações naturais da demanda devido a concorrência de diversos fatores que não são explicados pela componente sistêmica da demanda (tendência, sazonalidade ou ciclicidade). A sua participação na formação da curva da demanda é variável, porém quanto menor o impacto da componente aleatória, mais previsível é a curva da demanda e portanto menor será o desvio entre os seus valores previstos e realizados.

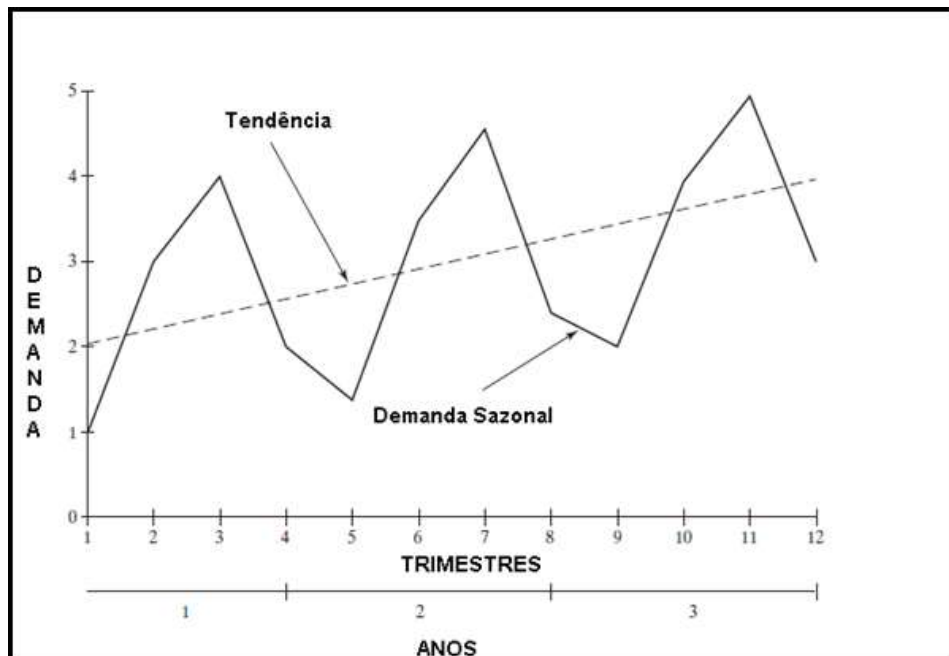


FIGURA 11 – UM EXEMPLO DE CURVA DE DEMANDA  
 FONTE: ARNOLD, CHAPMAN e CLIVE (1998)

O objetivo de qualquer modelo de previsão é determinar o comportamento sistemático da demanda e estimar a parte aleatória. Levando-se em consideração que a componente sistemática basicamente se traduz pelo nível, tendência e fator de sazonalidade, estes podem estar relacionados das seguintes maneiras (CHOPRA; MEINDL, 2003):

- a) Multiplicativa = nível x tendência x sazonalidade;
- b) Aditiva = nível + tendência + fator de sazonalidade;
- c) Mista = (nível + tendência) x fator de sazonalidade.

Apesar da existência de diferentes técnicas de previsão para se estimar a demanda, deve-se ter em mente que, independente da metodologia utilizada, as previsões sempre serão uma aproximação.

Quanto maior o horizonte da previsão maior será o erro, entretanto calcular previsões de soma de demandas apresentam melhores resultados do que suas previsões individuais (SIMCHI-LEVI D.; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI E., 2007).

As técnicas de previsão podem ser qualitativas, baseadas na experiência de especialistas através de pesquisas ou reuniões para se encontrar um consenso, são mais apropriadas no caso da base histórica de dados ser muito pequena ou na introdução de novos produtos. Esta técnica não é a mais indicada para cadeias de suprimentos porque são demoradas e de alto custo.

Já os métodos estatísticos baseados em séries temporais utilizam dados históricos de consumo que possibilitam identificar os padrões, tendências e sazonalidades da demanda assumindo a premissa que o comportamento presente é similar ao comportamento passado. Desde que o horizonte de planejamento seja o curto-prazo e a demanda não sofra oscilações bruscas esta técnica de previsão apresenta uma acurácia razoável e, portanto são muito utilizadas na previsão de demandas em cadeias de suprimentos. Entre as técnicas de previsão mais pode-se citar (BOWERSOX; CLOSS, 2010; HIRSCHEY, 2009):

- a) Médias Móveis;
- b) Amortecimento Exponencial Simples;
- c) Amortecimento Exponencial Duplo (Método de Holt).

Mais apropriado para previsões de longo prazo, pois pode considerar fatores e eventos externos, a técnica causal se baseia na metodologia estatística da regressão linear para identificar relacionamentos entre a demanda e outras variáveis independentes. A intensidade desta relação pode ser quantificada através do cálculo do parâmetro denominado correlação ( $r^2$ ) cujo domínio está no intervalo [0,1].

Quanto mais próximo do valor unitário maior o grau de relacionamento entre a variável de estudo e o consumo. Apesar de sua existência aumentar a confiabilidade da previsão, não há obrigatoriedade de haver uma relação de causa-efeito entre o consumo e a variável de estudo (BOWERSOX; CLOSS, 2010).

A simulação computacional também pode ser utilizada para reproduzir as escolhas dos clientes e prever seu comportamento futuro, a vantagem do uso de

simulação é a combinação das técnicas causais e de séries temporais (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Na prática não existe uma método previsão perfeito que se mostre superior para todos os perfis de demanda. Geralmente uma combinação de técnicas de previsão apresenta um resultado melhor do que a utilização de uma única metodologia (BALLOU, 2006).

#### 2.1.6.1 O Efeito Chicote (*Bullwhip Effect*)

O efeito chicote (*bullwhip effect*) pode prejudicar severamente a acurácia da previsão na demanda ao longo da cadeia de suprimentos. Este fenômeno causa uma amplificação das variâncias das informações da demanda à medida que ela se propaga no sentido dos fornecedores (*upstream*) da cadeia.

Seus efeitos podem ser sentidos na formação de estoques desnecessários, na realização de previsões não confiáveis para a demanda e no desbalanceamento de capacidades. Como resultado tem-se um acúmulo de custos, além de flutuações nos pedidos para os fornecedores (PIRES, 2009; CHANG; MAKATSORIS, 2001).

Na (FIGURA 12) a seguir pode-se visualizar as variabilidades da demanda de um ponto de venda e seu centro de distribuição. Nota-se um aumento considerável da amplitude da variação originada pelo efeito chicote no sentido *upstream* da cadeia.

Harrison e Hoek (2008) informam que a única forma de um fabricante responder a essas grandes e repentinas variações de demanda é mantendo estoques. Tais oscilações também afetam os níveis de capacidade e de inventários dos fabricantes. Suas regras de programação da produção, de flexibilidade limitada, resultam variâncias de demanda ainda maiores para seus fornecedores.

Lee, Padmanabhan e Whang (1997) identificaram as seguintes causas do efeito chicote:

- a) A constante atualização do nível de demanda projetada através dos métodos de previsão, além do estoque adicional necessário para prever o atendimento da demanda durante o *lead time* (estoque de segurança).



- b) As organizações, para minimizar custos de aquisição, emitem seus pedidos de forma periódica o que resulta em picos de demanda intervalados por demanda zero.
- c) Flutuações de preços, causados por exemplo por promoções, podem resultar em grandes variações no volume de pedidos, que não necessariamente refletem a demanda real.
- d) Demanda maior que a oferta, o que causa resposta defensiva dos clientes que multiplicam o mesmo pedido para diferentes fornecedores. Torna-se neste caso impossível para o fornecedor distinguir os pedidos reais dos pedidos, que serão cancelados assim que o cliente conseguir atender seu pedido.

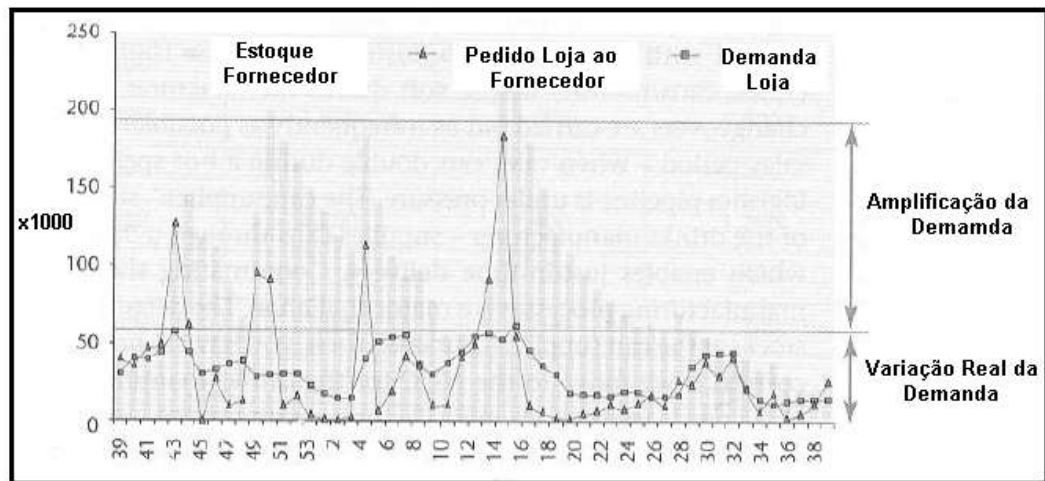


FIGURA 12 – O EFEITO CHICOTE CAUSADO PELO AUMENTO DA VARIÂNCIA DA DEMANDA

FONTE: ADAPTADO DE HARRISON E HOEK (2008)

#### 2.1.6.2 Médias Móveis

Médias móveis é uma das técnicas mais simples para prever valores futuros de uma série temporal, é utilizada quando a demanda não apresenta componentes sistemáticos de tendência e sazonalidade, somente nível. Seu valor é calculado através da seguinte equação:

$$L_t = \frac{D_{t+1} + D_{t-1} + \dots + D_{t-N+1}}{N} \quad (2.1.13)$$

Onde  $D_t$  são as  $N$  previsões do período  $N$ .  $L_t$  portanto é o valor médio da demanda no período  $N$ . Assim, estima-se os valores futuros da seguinte forma :

$$F_{t+1} = L_t \quad F_{t+n} = L_t \quad (2.1.14)$$

Ao observar-se a realização da demanda pra  $t+1$ , o valor médio é recalculado :

$$L_{t+1} = \frac{D_{t+1} + D_{t-1} + \dots + D_{t-N+2}}{N}, \quad F_{t+2} = L_{t+1} \quad (2.1.15)$$

Dessa forma atualiza-se o valor da previsão, descartando-se o valor mais antigo, “movendo a média” de forma a acompanhar a variação do valor mais atual da demanda. Deve-se tomar cuidado na seleção de  $N$ , quanto maior seu valor, menos sensível será a grandes variações da demanda (CHOPRA; MEINDL, 2003).

### 2.1.6.3 Amortecimento Exponencial Simples

O amortecimento exponencial simples, ao contrário das médias móveis que utiliza somente os valores realizados no passado no seu cálculo, considera também as vendas projetadas. Dessa forma a previsão futura é função da demanda realizada e da previsão das vendas projetadas no período anterior e de um termo de ajuste denominado fator alfa ( $\alpha$ ), tem-se assim (CHOPRA; MEINDL, 2003):

$$L_{t+1} = \alpha D_{t+1} + (1-\alpha)L_t \quad (2.1.16)$$

onde tem-se :

$D_{t+1}$  = demanda observada em  $t+1$

$L_t$  = estimativa calculada em  $t$

$L_{t+1}$  = nova estimativa para a demanda futura

$\alpha$  = constante de amortecimento (  $0 \leq \alpha < 1$  )

Apesar de também não se aplicar para demandas com componentes de tendência e sazonalidade, a simplicidade de cálculo é uma das principais vantagens desta técnica, adiciona-se a esta vantagem o fato da técnica não necessitar de séries históricas grandes. É possível ajustar a sensibilidade da previsão variando-se o valor do fator  $\alpha$ . Valores muito baixos tornam o alisamento exponencial praticamente uma média móvel, ao passo que valores próximos ao valor unitário tornam a previsão muito sensível a alterações. Valores normais para este fator de ajuste se situam entre 0,01 e 0,3, embora valores mais altos possam ser arbitrariamente utilizados no caso de grandes mudanças de demanda previstas como uma recessão ou uma grande promoção (BOWERSOX; CLOSS, 2010).

Pode-se dizer que a regra geral na busca do melhor valor de  $\alpha$  é aquele que permita detectar mudanças na demanda e ao mesmo tempo suavize as oscilações da componente aleatória (BALLOU, 2006).

#### 2.1.6.4 Amortecimento Exponencial Duplo (Método de Holt)

O método de Holt é mais adequado para aplicar em séries temporais quando além do nível está presente a componente sistêmica da tendência, porém sem sazonalidade. Dessa forma pode-se modelar o comportamento da demanda como uma equação que soma a tendência com o valor médio (CHOPRA; MEINDL, 2003):

$$F_1 = L_0 + T_0 \quad F_{t+n} = L_t + nT_t \quad (2.1.17)$$

Onde  $L_0$  é o valor médio e  $T_0$  representa a tendência, como a relação entre o tempo e a demanda é linear, pode-se representar o modelo por uma equação de reta. Dessa forma aplica-se a regressão linear para calcular os parâmetros da equação da reta que melhor represente os valores da série temporal da demanda e assim estimar-se o valor inicial ( $F_1$ ) da previsão que são os valores da inclinação da reta  $T_0$  e o seu valor inicial em  $t=0$  ( $L_0$ )

As próximas observações podem ser estimadas através das seguintes equações (CHOPRA; MEINDL, 2003):

$$L_{t+1} = \alpha D_{t+1} + (1-\alpha)(L_t + T_t) \quad (2.1.18)$$

$$T_{t+1} = \beta(L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta)T_t \quad (2.1.19)$$

onde tem-se :

$D_{t+1}$  = valor real da demanda no tempo  $t+1$

$L_t$  = valor previsto do nível da demanda no tempo  $t$

$T_t$  = valor previsto da tendência no tempo  $t$

$L_t$  = valor previsto do nível da demanda no tempo  $t+1$

$\alpha$  = fator de amortecimento para o nível (  $0 \leq \alpha < 1$  )

$\beta$  = fator de amortecimento para a tendência (  $0 \leq \beta < 1$  )

Novamente aplicam-se as mesmas regras do amortecimento exponencial simples para a definição dos melhores valores dos fatores de ajuste da tendência e do nível, de forma a ajustar a sua sensibilidade o máximo possível a variações que não sejam oscilações aleatórias da demanda.

#### 2.1.6.5 Erros de Previsão

Todas as previsões apresentam desvios do valor real realizado da demanda, deve-se adotar o método de previsão de forma que o erro resultante seja o menor possível. A mensuração constante de seu valor e por retroalimentação reavaliar os parâmetros da técnica de previsão adota revela-se uma técnica apropriada para manter os erros em níveis admissíveis ou dentro das estimativas históricas da organização.

A monitoração é especialmente importante quando os padrões de demanda são dinâmicos, ou seja, quando os valores do nível, tendência e sazonalidade mudam ao longo do tempo (BOWERSOX, CLOSS, 2010; BALLOU, 2006).

O quadro (QUADRO 3) contém um resumo das principais técnicas de cálculo de erros de previsão de demanda. O erro é definido da seguinte forma (CHOPRA; MEINDL, 2003):

$$E_t = F_t - D_t \quad (2.1.20)$$

onde :

$E_t$  = Erro da previsão para o período  $t$

$F_t$  = Estimativa da demanda para o período  $t$

$D_t$  = Demanda realizada para o período  $t$

MÉTODOS DE CÁLCULO DE ERRO		
NOME	FÓRMULA	OBSERVAÇÕES
Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) ou (RMSE)	$REQM_n = \sqrt{(1/n) \sum_{t=1}^n E_t^2}$	Calcula a raiz da média do quadrado do erro de previsão
Desvio Absoluto Médio (DAM) ou (MAE)	$DAM_n = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{t=1}^n  E_t $	Calcula a média do desvio absoluto do erro de previsão. No caso de gaussianidade da componente aleatória, o seu desvio padrão pode ser calculado uma vez que $\sigma = 1,25 \text{ DAM}$
Erro Absoluto Médio Porcentual (EAMP) ou (MAPE)	$EAMP_n = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{t=1}^n \left  \frac{E_t}{D_t} \right  100$	Calcula o erro absoluto médio como percentagem da demanda
Vies da Previsão	$Viés_n = \sum_{t=1}^n E_t$	Se o erro for aleatório, a somatória dos erros oscilará em torno do zero.
Razão de Viés (TS)	$TS_t = \frac{Viés_t}{DAM_t}$	TS maior que +6 = previsão superestimada TS menor que -6 = previsão subestimada (ex. ao usar-se a média móvel em demandas com tendência).

QUADRO 3 – METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE ERRO  
FONTE: CHOPRA E MENDL (2003)

## 2.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Para Shannon (1998, p. 7, tradução nossa) simulação é o “processo de implementar um modelo de um sistema real e conduzir experimentações com o propósito de entender o comportamento do sistema e/ou avaliar as diferentes estratégias para a operação do sistema”.

Pode-se igualmente considerar a simulação como uma ampla coleção de métodos e aplicações com o objetivo de mimetizar o comportamento de um sistema do mundo real, geralmente com o uso de um computador e software apropriado (KELTON; SADOWSKI P.; SADOWSKI A., 2002).

Classifica-se a simulação em dois grandes grupos, a simulação computacional, que necessita de um computador para a sua execução e a simulação não computacional. Trata-se de um exemplo de simulação não computacional a análise de uma maquete de carro em túnel de vento para determinar seu coeficiente aerodinâmico (CHWIF; MEDINA, 2007).

### 2.2.1 Simulação Computacional

Sistemas do mundo real são demasiadamente complexos para se usar métodos matemáticos como cálculo, álgebra ou teoria das probabilidades para a obtenção de repostas as questões de interesse através de solução analítica.

Portanto os modelos que representam tais sistemas devem ser estudados através da simulação computacional sendo uma das técnicas mais usadas, senão a mais usada no campo da pesquisa operacional e das ciências de gestão de empresas (LAW; KELTON, 2000).

A simulação computacional permite a cientistas e engenheiros a experimentação em ambientes virtuais com um nível de detalhamento inacessível no estágio inicial de nosso desenvolvimento científico, tornando-se um método de grande auxílio na análise de aplicações complexas.

As técnicas baseadas em simulação computacional permitem encontrar soluções individuais para problemas específicos, ao contrário das soluções generalistas encontradas através do método analítico, em um ambiente controlado e com grande compressão temporal (WAINER, 2009).

Simular significa mimetizar um sistema, portanto é importante definir o seu significado, pode-se considerar um sistema como um grupo de objetos que são unidos por meio de alguma relação de causa e efeito com o objetivo comum de cumprir algum propósito (BANKS *et al.*, 2000).

Para que estes objetos e principalmente suas inter-relações sejam identificadas, o objetivo do sistema deve ser estipulado com clareza. Como exemplo tem-se um sistema que é composto por um homem, uma faca, uma queijeira contendo um pedaço de queijo e um rato.

Caso o objetivo tratar-se apenas de identificar a mecânica do sistema, o corte do queijo sobre a queijeira, o rato não terá nenhuma influência, e pode ser eliminado do sistema. Se por outro lado pretende-se estudar o desenvolvimento de bactérias no queijo, tanto a queijeira quanto a faca, o rato e o ser humano, por seu potencial de contaminação, são igualmente importantes e devem ser considerados no sistema (CHWIF; MEDINA, 2007).

Sistemas podem ser afetados por fatores externos que ocorrem fora de suas fronteiras, Soares (1990) afirma que neste caso determinadas ações podem ser adotadas:

- a) A definição do sistema pode ser estendida de forma a englobar esses fatores externos causadores de mudanças;
- b) Tais fatores externos podem ser ignorados;
- c) Podem-se considerar tais fatores externos como entradas do sistema.

O autor ilustra suas afirmações através de exemplo de um sistema de manufatura de uma empresa, as vendas de produtos podem ser consideradas como parte do sistema ou uma de suas entradas.

Ao serem consideradas como parte do sistema as vendas de produtos e suas relações de causa e efeito devem ser analisadas em todas as suas dimensões, como por exemplo, a influência de um concorrente no impacto do volume de produtos vendidos.

Se no caso da definição do sistema se considerar as vendas como uma de suas entradas o setor de vendas está fora da fronteira que define o sistema, apesar de influenciá-lo, pois as vendas tem impacto na formação do estoque dos produtos produzidos pela fábrica, mas as relações de mercado que determinam o volume de tais vendas tornam-se irrelevantes.

A definição de sistemas envolve uma terminologia específica para conceituar os seus componentes são (BANKS *et al.*, 2000):

- a) Entidade: Objeto de interesse do sistema. b) Atributo – Propriedade qualquer de nossa entidade;
- b) Atividade: Ação que ocorre em determinado período de tempo;
- c) Variáveis de Estado: Representam o conjunto de variáveis que descrevem o sistema objeto de estudo em qualquer tempo;
- d) Evento: Representa uma ocorrência que pode mudar o estado do sistema.

Eventos e atividades podem ser endógenos, quando ocorrem dentro do sistema, ou exógenos quando ocorrem fora das fronteiras do sistema. O (QUADRO 4) a seguir explica estes conceitos para alguns sistemas comuns em nosso dia a dia.

Quanto a sua classificação, Law e Kelton (2000) agrupam os sistemas em dois tipos:

- a) **Sistemas Discretos:** As variáveis de estado mudam instantaneamente em momentos distintos no tempo, um sistema que descreve os caixas automáticos de um banco é um exemplo de um sistema discreto, pois as variáveis de estado que descrevem o sistema, como o número de clientes na fila e o número de caixas automáticos ocupados, são números inteiros positivos;
- b) **Sistemas Contínuos:** As variáveis de estado que representam o sistema mudam continuamente com o tempo, não há descontinuidades, avazão de água em uma represa, por exemplo, é um exemplo de variável de estado contínua.

SISTEMA	ENTIDADE	ATRIBUTOS	ATIVIDADES	EVENTOS	VARIÁVEIS DE ESTADO
Caixa Autom. Banco	Clientes	Saldo da Conta Corrente	Depósito	Saída Chegada	Nr. de caixas automáticos Nr. de clientes esperando
Trem	Passageiros de trem	Origem Destino	Viagem	Chegada na estação Saída da estação	Nr. de passageiros esperando na estação Nr. de passageiros em transito
Produção	Maquinas	Velocidade. Capacidade Índice de avarias	Soldagem Estamparia	Avaria	Estado da máquina (ocupada, livre, conserto)
Comunicações	Mensagens	Tamanho Destino	Transmissão	Chegada ao destino	Nr. de mensagens na fila esperando transmissão Nr. de mensagens transmitidas com sucesso
Estoque	Depósito	Capacidade	Retirada	Demanda	Nível de estoque Pedidos não atendidos

QUADRO 4 – EXEMPLO DE SISTEMAS E SEUS COMPONENTES  
FONTE: BANKS *et al.* (2000)

Na prática, destacam os autores, são raros os sistemas puramente discretos ou puramente contínuos. Classificam-se os sistemas baseados no tipo de variável predominante.

Para simular um sistema utilizando um programa de computador, torna-se necessário representá-lo através da criação de um modelo. Um modelo é similar ao sistema que o representa, porém mais simples, o seu propósito é permitir a predição dos efeitos provocados pelas mudanças no sistema. Logo o modelo deve ser suficiente complexo para incorporar as características mais representativas do sistema, mas não tão complexo a ponto de ser impossível entender seu comportamento através da experimentação (MARIA, 1997).



Pidd (2004) propõe a seguinte taxonomia para classificar modelos, que podem ser:

- a) Descritivos: Modelo que explica ou descreve um fenômeno, problema ou sistema. Um organograma descrevendo como uma determinada empresa está organizada através de sua cadeia hierárquica seria um exemplo de modelo descritivo;
- b) Prescritivos: Modelos que indicam ações a serem tomadas em linhas com os requisitos definidos para determinado sistema. Um modelo utilizando programação linear que otimize o desempenho de uma fábrica seria classificado como prescritivo;
- c) Preditivos: Modelos que nos permitem visualizar como um sistema pode evoluir mediante determinadas ações ou decisões. Pode-se citar como exemplo o modelo matemático baseado em simulação que represente uma cadeia de suprimentos que permita mensurar o impacto no custo total em adotar determinada política de gestão de estoque em um elo qualquer da cadeia.

Uma outra perspectiva para a classificação de modelos é dado por Law e Kelton (2000), os autores argumentam que modelos podem ser do tipo:

- a) Modelo Físico ou Modelo Icônico: Protótipos em escala reduzida do objeto de estudo ou desconectado de um sistema maior (como a cabine de um avião em um equipamento de simulação de voo);
- b) Modelo Matemático: Representam o sistema por meio de relações lógicas e quantitativas que são manipuladas e modificadas para observar o comportamento e inferir como o sistema reagiria, dado que o modelo é válido.

Banks *et al.* (2000) afirmam que o modelo de simulação é um caso particular de modelo matemático de um sistema e, portanto pode ser explodido nos seguintes tipos:

- a) Modelos Estáticos: Também chamada de simulação de Monte Carlo, trata-se do modelo no qual o tempo não é uma variável importante. Para ilustrar o conceito, imagine-se um cenário hipotético no qual um total de três milhões de pessoas jogaram na Megasena em uma determinada semana. Neste caso o desenvolvimento de um modelo de

simulação capaz de calcular a probabilidade de haver um ganhador independente do tempo;

- b) Modelos Dinâmicos: Modelos cujo tempo é uma variável que deve ser considerada. Tome-se novamente o exemplo da Megasena, o modelo de simulação desenvolvido para calcular a probabilidade de nenhum ganhador acertar a Megasena nas próximas semanas deve ser dinâmico. A medida que as semanas passam, aumenta-se a quantidade de apostadores por causa do maior valor do prêmio e consequentemente as probabilidades de ao menos haver um ganhador aumentam;
- c) Modelos Estocásticos: Suas variáveis de entrada tem componente randômico. Por exemplo, a demanda de determinado produto em um modelo de simulação de cadeia de suprimentos. Trata-se de uma variável de entrada de natureza predominantemente aleatória e sua previsão é uma estimativa sujeita a erros;
- d) Modelo Determinístico: As entradas são conhecidas e resultarão em um único conjunto de saídas. Suponha-se um modelo que simule um consultório médico, a variável horários de chegada de pacientes é conhecida, caso não haja atrasos;
- e) Modelos Discretos e Modelos Contínuos: Suas definições são análogas à definição dada anteriormente para a classificação de sistemas.

Os autores continuam destacando que não existe uma correlação direta entre sistemas discretos e modelos de simulação discreta ou de sistemas contínuos e modelos de simulação contínuos, tudo vai depender das características do sistema que se deseja estudar e do modelo que melhor espelhe o comportamento desta determinada característica.

A classificação de modelos de simulação pode ter diferentes definições além da descrita por Banks *et al.* (2000). Nance (1996), Chwif e Medina (2007) classificam os modelos de simulação computacional em três grandes grupos: Monte Carlo (estático), modelos de simulação contínua, e modelos de simulação de eventos discretos.

A classificação de Chwif e Medina (2007) torna-se paradigma para Banks (2010) que classifica modelos como: modelos baseados em leis da física, elementos

finitos, baseado em banco de dados, baseado em agentes, modelos baseados em agregação, modelos híbridos entre outros.

### 2.2.2 O Estudo através da Simulação

A representação da (FIGURA 13) a seguir demonstra a natureza iterativa do processo do estudo utilizando a simulação, no qual o sistema foco de atenção é modificado como resultado das conclusões obtidas através do modelamento, análise e experimentação, se torna objeto novamente de atenção e o ciclo se repete.

Um ponto importante a se destacar é que, com exceção da execução da simulação no ambiente computacional, a tomada de decisão pelo ser humano é necessária em todos os seus estágios (MARIA, 1997).

Soares (1990) destaca que ao considerarmos a simulação para o estudo de um determinado sistema, podemos tirar nossas inferências sobre seu comportamento:

- a) Sem a necessidade de construí-los, se são sistemas que ainda não existem no mundo real;
- b) Sem perturbá-los caso sejam onerosos ou perigosos do ponto de vista operacional;
- c) Sem destruí-los caso a experimentação seja uma forma de avaliar a robustez ou os limites da atuação do sistema.

Banks (2010) enumera diferentes abordagens que poderiam motivar um estudo com simulação:

- a) Planejamento de Experimentos: O desenvolvimento de um conjunto de cenários de simulação adequados para esclarecer questões específicas de desempenho do sistema;
- b) Avaliação de Desempenho: Avaliação do desempenho do sistema, medição de como é a evolução do comportamento do sistema em direção a um nível de desempenho desejado;
- c) Análise de Sensibilidade: Avaliação da sensibilidade do sistema em relação à variabilidade de um conjunto de parâmetros;

- d) Comparação de Sistemas: A comparação entre duas ou mais alternativas de sistema de forma a extrair a melhor opção de desempenho em dada condição;
- e) Otimização Restrita: Determinação de parâmetros ótimos, dado um específico objetivo de desempenho.

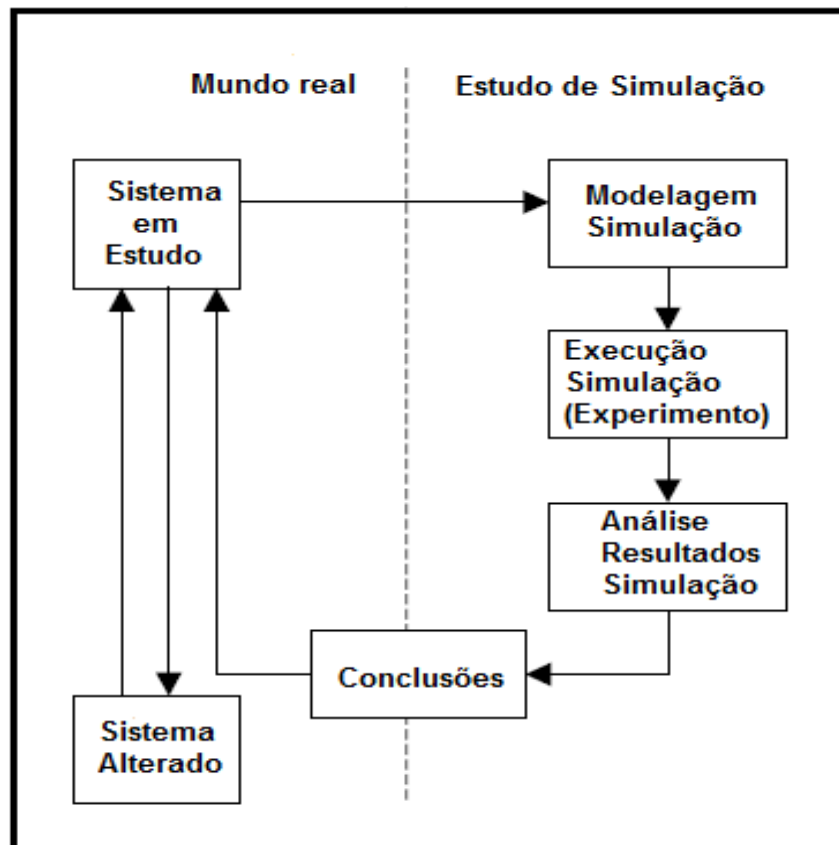


FIGURA 13 – O ESTUDO DA SIMULAÇÃO  
 FONTE: MARIA (1997)

No (QUADRO 5) a seguir estão compiladas as principais vantagens, algumas já destacadas por Soares (2009), e as desvantagens que são observadas ao adotarmos a simulação como metodologia para estudar o comportamento de sistemas.

O USO DA SIMULAÇÃO	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Teste de novos produtos, layouts físicos, sistemas de transporte, etc. sem o uso de recursos materiais e/ou humanos para sua implantação	Necessita de treinamento especializado e experiência para formar bons modeladores de sistemas.

QUADRO 5 - DESVANTAGENS E VANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO  
 FONTE: ADAPTADO DE BANKS *et al.* (2000); SHANNON (1998); INGELS (1985)

(CONTINUA)

O USO DA SIMULAÇÃO	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Usado para teste de novas políticas de gestão, procedimentos operacionais, decisões de negócio, estruturas organizacionais, fluxos de informações etc. sem interromper as atividades em andamento.	A modelagem de um sistema pode ser cara e pode requerer um considerável número de recursos humanos e de tempo.
Permite a identificação de restrições ( <i>bottlenecks</i> ) no fluxo de informações, material ou produtos e por consequência o teste de opções para diminuir tais restrições.	A simulação não prove uma solução ótima uma vez que são modelos do tipo entrada-saída, e são instrumento para análise de comportamento do sistema frente a diferentes cenários, independentes se são ótimos ou não.
Permite o teste de hipóteses de como ou porque certo fenômeno ocorre no sistema.	Os resultados da simulação as vezes podem ser difíceis de determinar, uma vez que as entradas tem componente ramdômicos, pode haver dificuldade em determinar se o resultado é meramente ramdômico ou existe interrelações entre estas entradas.
Permite a compressão temporal, executando experimentos em segundos e que poderiam levar dias, semanas ou até anos em um sistema real. Também permite a desaceleração do tempo para melhor estudo do fenômeno.	Simulação pode ser indevidamente aplicada onde a solução analítica é possível e desejada.
Permite aumentarmos nossa sensibilidade de como o modelo realmente trabalha e sobre o entendimento de quais variáveis melhoram o desempenho do sistema	Necessário uso de dados de entrada confiáveis, cuja obtenção pode ser em alguns casos demorada, e mesmo assim os resultados da simulação podem ser às vezes altamente questionáveis. Simulação não consegue compensar o uso de dados inapropriados ou má modelagem da simulação.
Permite experimentos com cenários pouco comuns e que respondam questões do tipo "E se...".	-
Constroe o consenso uma vez que frequentemente alguns modelos mentais sobre o desempenho de determinado sistema são concorrentes, e podem ser confrontados mediante os resultados da simulação.	-
Prepara para a mudança, mediante a obtenção de repostas aos cenários de interesse formulados durante a definição do problema.	-
Provê excelente apoio para treinamento, quando projetado para esse propósito, além de ser mais barata e menos disruptivo que o treino <i>on the job</i>	-

QUADRO 5 - DESVANTAGENS E VANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO (CONTINUAÇÃO)  
 FONTE: ADAPTADO DE BANKS *et al.* (2000); SHANNON (1998); INGELS (1985)

### 2.2.3 A Simulação de Eventos Discretos

A simulação de eventos discretos utiliza um modelo matemático/lógico de um sistema físico que retrata mudanças de estado em período de tempos discretos durante a simulação. Tanto a natureza da mudança do estado quanto o tempo em que essa mudança ocorre necessitam de uma descrição exata.

Aplicações típicas de sistemas que podem ser modelados pela simulação discreta a eventos, por exemplo, são clientes esperando por algum tipo de serviço, gestão de estoques, combates militares entre outras (NANCE, 1996).

A (FIGURA 14) a seguir ilustra o conceito de um sistema que muda seu estado em momentos discretos no tempo. A preparação de chá envolve três eventos, que ocorrem em momentos distintos, dessa forma o modelo que simulará a preparação do chá terá o relógio de simulação sempre apontando para o instante que um evento acontece (CHWIF; MEDINA, 2007).

Considere-se um sistema constituído por um serviço de atendimento de um restaurante hipotético que ofereça chá como cortesia para os clientes que chegam e sentam-se à mesa, o chá servido é muito saboroso e os clientes anseiam para serem atendidos.

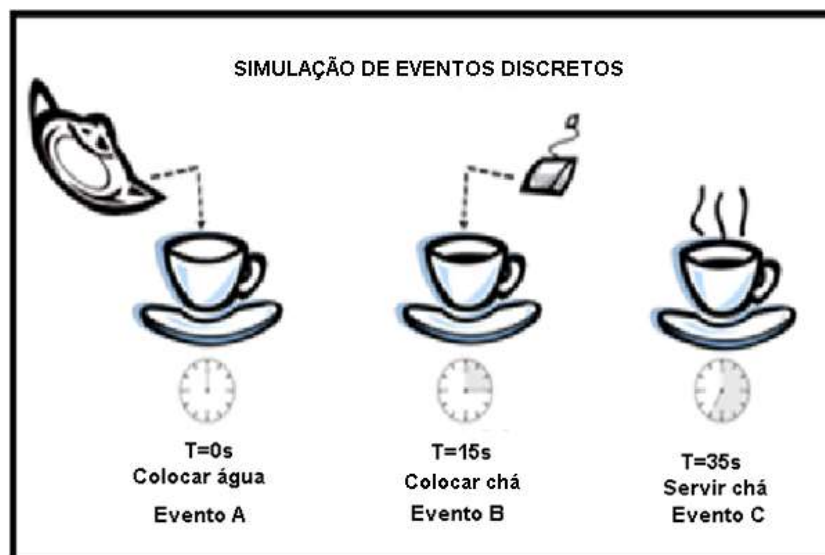


FIGURA 14 – EVENTOS DISCRETOS DO SISTEMA “PREPARANDO O CHÁ”  
FONTE: CHWIF E MEDINA (2007)

Representa-se na (FIGURA 15) a estrutura lógica do modelo, com os tempos de chegada de setes clientes (entidades) e os respectivos tempos de atendimento, medidos através de observação.

Observam-se mapeados ainda na (FIGURA 15), dois eventos definidos como a chegada do cliente ao restaurante e o seu atendimento, os dois eventos restantes estão associados com a inicialização e a sinalização do término da simulação.

Também estão definidas duas variáveis de estado que definem o tamanho da fila (representados por números inteiros) e indicam o numero de pessoas esperando para serem atendidas pelo garçom e o status do garçom que pode ser LIVRE ou OCUPADO.

O propósito desta simulação poderia avaliar parâmetros de desempenho tais como o tempo médio que um cliente espera para ser atendido, o número médio de clientes que ficam aguardando (fila) e a taxa de ocupação do garçom (razão entre o tempo em que está ocupado e o tempo total de simulação).

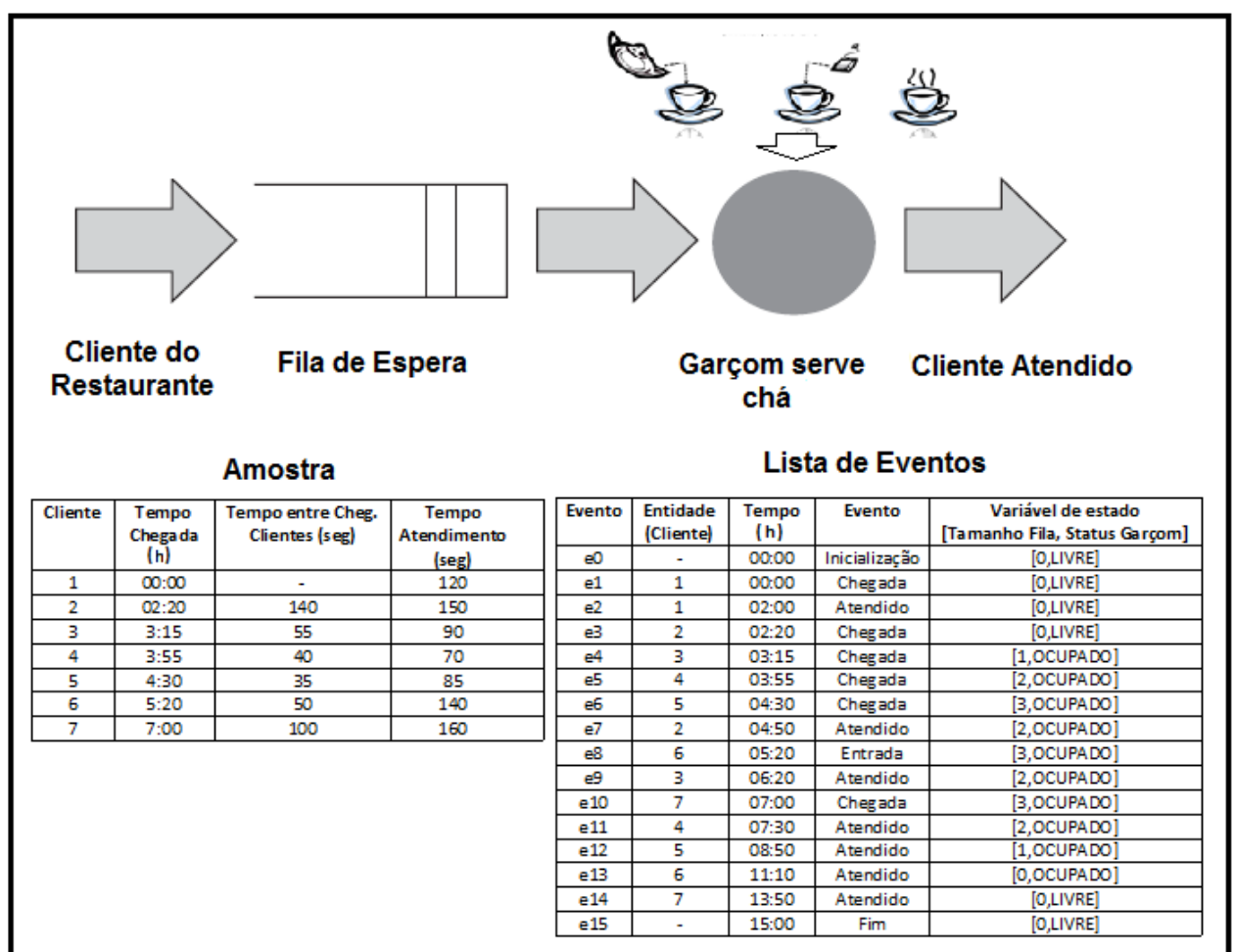


FIGURA 15 – MODELO ATENDIMENTO “CHÁ CORTESIA”  
FONTE: AUTOR (2013)

Os resultados orientariam o proprietário do restaurante na tomada da decisão de contratar ou não um novo garçom.

Neste cenário-exemplo pretendem-se descrever as duas abordagens típicas que podem ser utilizadas para desenvolver o modelo de simulação de eventos discretos.

É importante definir neste ponto alguns conceitos comuns utilizados na simulação de eventos discretos (KELTON; SADOWSKI P.; SADOWISKI A., 2002):

- a) Entidade: Entidades são objetos dinâmicos que alteram o estado do sistema e, portanto o seu desempenho geralmente representam algo real como objetos ou pessoas, em nosso exemplo o cliente que chega ao restaurante é uma entidade;
- b) Recursos: Entidades competem por recursos, em nosso modelo de simulação o recurso é representado pelo garçom que serve o chá. As entidades locam os recursos por determinado tempo e o liberam para uso por outras entidades após um determinado tempo, geralmente estocástico;
- c) Filas: Na simulação de eventos discretos, as entidades não são atendidas no momento que passam a existir, o recurso neste momento pode estar sendo utilizado por outra entidade. Desta forma precisamos de um “lugar” para que estas entidades esperem o momento de serem atendidas pelos recursos, tais locais são as filas. As filas podem ser atendidas de diferentes maneiras, por ordem de chegada, por priorização do tipo de evento, etc. No exemplo apresentado do garçom que serve o chá, o critério de atendimento será por ordem de chegada.

#### *2.2.3.1 Estratégias para a Simulação de Eventos Discretos*

Cassandras e Lafortune (2008) destacam que nesta técnica de simulação assume-se que o relógio de medição de tempo é atomizado e não contínuo, e que as variáveis de estado sofrem mudança instantânea ao longo dessas unidades discretas de tempo do relógio. A cada transição ocorrida podemos associar um evento  $e_i$ . Dessa forma, à medida que o relógio avança, podemos considerar duas possibilidades:

- a) A cada passo do relógio um evento  $e_i$  é selecionado do conjunto de eventos  $E$  que irá ocasionar a transição de estado. Caso não ocorra a mudança de estado podemos assumir que o evento selecionado é nulo (*null*) e não causa transição de estado;



- b) Em vários instantes de tempo, não necessariamente coincidentes com os passos do relógio, alguns eventos  $e_i$  “anunciam” que estão ocorrendo.

Ao escolher-se a estratégia (a) para desenvolver a simulação discreta que irá representar o modelo de atendimento do garçom do nosso cenário-exemplo, deverá ser definido qual será o passo do relógio de simulação.

Se o passo tiver o tamanho de um segundo nosso simulador ficará a maior parte do tempo amostrando intervalos de tempo sem nenhum processamento, pode-se verificar na (FIGURA 15), por exemplo, que após o evento  $e_1$ , o próximo evento  $e_2$  só irá ocorrer 120 passos de relógio (segundos) depois.

Por outro lado ao se aumentar o tempo do passo do relógio, por exemplo, a cada meio minuto, perdemos o sincronismo entre o momento que acontece o evento e a atualização de sua variável de estado.

Verifica-se que para o cliente 2, o evento  $e_3$  representa a sua chegada e acontece no tempo 02:20s, porém o simulador só irá atualizar a variável de estado no tempo 02:30s, uma vez que sua taxa de atualização é de trinta em trinta segundos.

Diaz e Behr (2010) destacam que a escolha da taxa de amostragem que irá determinar a atualização das variáveis de estado é muito mais uma arte que depende da experiência do profissional que especifica o modelo de simulação do que uma ciência.

Por outro lado, ao escolher-se a estratégia (b) o relógio sempre assumirá valores de tempo relativos ao evento, no caso do sistema de nosso exemplo o evento  $e_1$  no tempo 00:00s, atualiza-se as variáveis de estado, e o relógio é adiantado até o tempo 02:00s, que é o tempo em que ocorre próximo evento  $e_2$ .

Novamente processa-se a atualização das variáveis de estado e o relógio é avançado para o próximo evento  $e_3$  e assim por diante. A (FIGURA 16) mostra para alguns eventos a estratégia de avanço do relógio na simulação de eventos discretos para o sistema dado como exemplo.

Pode-se concluir que a estratégia (b) sempre manterá o sincronismo entre o tempo do evento e o relógio de medição de tempo, uma vez que seu valor estará sempre apontando para o próximo evento, soma-se a esta vantagem o fato que não há desperdício de tempo de processamento neste mecanismo. Apesar de ser mais

complexa, esta estratégia é muito utilizada em ambientes de simulação comerciais (DIAZ; BEHR 2010).

O mecanismo utilizando-se o avanço de tempo de relógio sincronizado ao próximo evento na simulação de eventos discretos corresponde ao processo de interrupção em computadores. Este processo é utilizado pelo sistema operacional para solicitar a CPU que redirecione seus recursos para processar as ações assíncronas e rotineiras iniciadas pelo usuário, como o clicar de um mouse ou o digitar do teclado. (CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008).

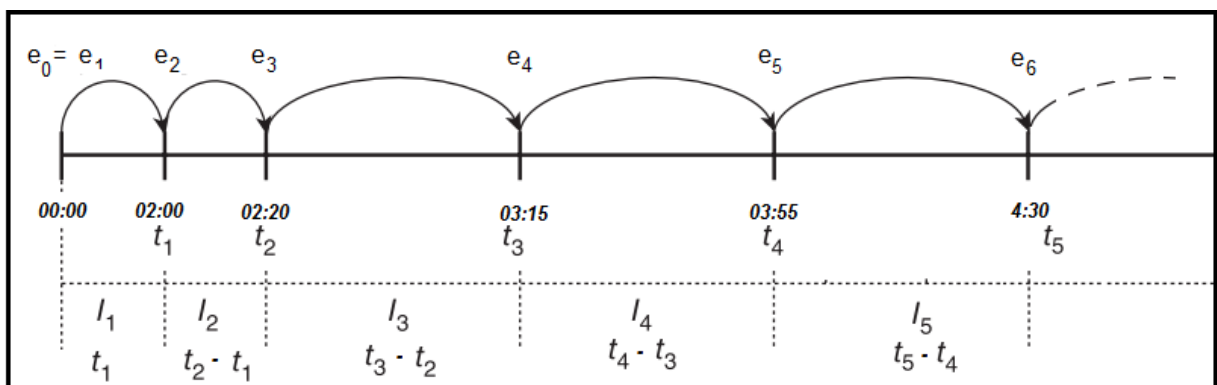


FIGURA 16 – DIAGRAMA TEMPORAL DOS EVENTOS  $e_1... e_6$   
 FONTE: MODIFICADO DE DIAZ E BEHR (2010)

## 2.3 O USO DA SIMULAÇÃO PARA MODELAGEM DE CS

### 2.3.1 Introdução

As organizações estão se tornando conscientes da importância estratégica em se planejar e controlar suas cadeias de suprimentos de maneira integrada, abandonando o antigo paradigma de considerá-la meros elementos em uma sequência linear com relacionamentos bilaterais (MIN; ZHOU, 2002).

Como membros de uma orquestra bem afinada, a competitividade de cada elo está associada à flexibilidade de seus processos e a velocidade de promover mudanças de modo a capitalizarem rapidamente as mudanças do mercado.

Naturalmente esta “sintonia” está associada a complexas interações entre seus membros e a *trade-offs* adequados entre objetivos muitas vezes conflitantes,

como redução de estoques e nível de serviço, satisfação do cliente e custos de transporte, custos de estoque e vendas perdidas, entre outros (LONGO, 2011a).

Pode-se afirmar que esta nova filosofia de se operar negócios quando os relacionamentos entre os elos da cadeia passam a ser multilaterais, com iterações muitas vezes não lineares aumentou consideravelmente a complexidade sistêmica da cadeia de suprimentos.

Portanto a compreensão do seu entendimento através de modelamento matemático torna-se possível somente com o uso da técnica da simulação (LONGO, 2011b).

Apesar das técnicas estático-determinísticas apresentarem mais simplicidade na sua modelagem e implementação, elas não levam em consideração o comportamento estocástico da cadeia representado pela variabilidade de certos parâmetros como, por exemplo a demanda, traduzindo-se em resultados incorretos (CHWIF; BARRETTO; SALIBY, 2002).

Min e Zhou (2002) destacam que a aplicabilidade dos modelos matemáticos analíticos tradicionais propostos na literatura científica, geralmente centrados na otimização (lucro máximo e custo mínimo), é válida para questões mais técnicas e objetivas da cadeia de suprimentos, como por exemplo, a localização de instalações, seleção do modal de transportes e roteirização de veículos, planejamento da produção entre outros.

Os autores continuam sua argumentação afirmando que tais modelos não conseguem lidar com questões gerenciais mais subjetivas, que surgem ao se aumentar a integração da cadeia.

Entre tais questões pode-se citar as resistências a mudanças organizacionais, previsão dinâmica da demanda, medidas de desempenho orientado a times, gerência de relacionamento de clientes (CRM), deslocamento de poderes de decisão ao longo do canal de suprimentos, compartilhamento de informações em tempo real, entre outros.

Chang e Makatsoris (2001) enumeram diversas vantagens em utilizar-se simulação como técnica para modelagem de cadeias de suprimentos:

- a) Auxilia no entendimento global dos processos que definem uma cadeia de suprimentos através do uso de gráficos e animações;

- b) Permite capturar o comportamento dinâmico do sistema através do uso de distribuições de probabilidades, de forma que os efeitos na cadeia de suprimentos de eventos não esperados possam ser compreendidos;
- c) Reduz significativamente o risco de mudanças durante a etapa de planejamento, uma vez que a simulação permite validar diferentes cenários para responder perguntas do tipo “E se”.

### 2.3.2 Técnicas de Simulação de CS

Liotta (2012) apresenta a seguinte taxonomia para as diversas técnicas abordadas na literatura, descrita no (QUADRO 6).

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Técnica de Simulação	Simulação a eventos discretos (DES) Sistemas dinâmicos (SD) Simulação de Monte Carlo Simulação baseada em agentes (ABS) Simulação baseada em jogos Estratégias híbridas e integradas (H/IA) (combinação de diferentes
Paradigma da Simulação	Simulação distribuída (computação paralela) - em estrutura de Simulação distribuída (computação paralela) - em estrutura de Local
Tipo de Rede	Rede de manufatura (organização + lado <i>upstream</i> da cadeia de Cadeia de Suprimentos (lado <i>upstream</i> + organização + lado <i>downstream</i> )
Escala	Única (fábrica/ instalação) Múltipla (rede de fábricas, instalações, organizações)
Uso de métodos matemáticos	Único
interdisciplinares	Envolve simultaneamente várias técnicas envolvendo diversas

QUADRO 6 – UMA TAXONOMIA PARA SIMULAÇÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS  
FONTE: ADAPTADO DE LIOTTA (2012), TERZI E CAVALIERI (2004).

Pode-se citar alguns trabalhos encontrados na literatura que são aderentes a classificação proposta por Liotta (2013) como os modelos de simulação baseados em eventos discretos de Silva (2010) e Longo e Mirabelli (2008), simulação por sistemas dinâmicos de Sasaki (2009) e Lopes (2009), simulação baseado em agentes de Ferreira (2009) e Oliveira (2004).

De utilização menos comum estão as técnicas de simulação utilizando-se da lógica Fuzzy (GANGA, 2010).

Modelos híbridos que mesclam técnicas de simulação de eventos discretos com sistemas dinâmicos também são encontrados na literatura (LOUREIRO, 2009; LEE *et al.*, 2002).

Da mesma forma que Tako e Robinson (2012), Liotta (2012) destaca que a modelagem e simulação baseada em eventos discretos é uma das técnicas mais utilizadas para o estudo científico de fenômenos em cadeias de suprimentos.

Entretanto a sua difusão entre as organizações não é muito alta, comparado aos modelos baseados em jogos de empresas, criados a partir de simplificações do sistema real para fins educacionais e de treinamento.

Igualmente popular, a técnica de modelagem por sistemas dinâmicos é utilizada em sistemas agregados e que tratam de políticas estratégicas, uma vez que não exigem tanto rigor no tratamento dos dados e por isso demandam menos esforço e tempo para sua implementação (LIOTTA, 2012; MARION J. MARION A., 2006; SWEETSER, 1999).

O autor identifica uma tendência na literatura científica de se utilizar modelos híbridos de simulação. Esta técnica recente combina simulação discreta de eventos, com as técnicas de simulação utilizando sistemas dinâmicos, que modelam o sistema através de variáveis contínuas, e de otimização, o que agrega vantagens sobre o modelo puro como:

- a) Diminuir o número de corridas que devem ser executadas pelo simulador para atingir o desempenho desejado do sistema, uma vez que a solução apresentada pela simulação não é a ótima, e a combinação de cenários para se determinar o valor ótimo pode explodir exponencialmente (problema do tipo *np-hard*);
- b) Adicionar inteligência na lógica de controle do simulador
- c) Obter soluções distintas através do modelo estáticos e dinâmicos para efeitos de validação, comparação e verificação;
- d) Adicionar ao modelo discreto de simulação o efeito de várias funções contínuas no modelo de simulação.

Outra tendência futura identificada por Terzi e Cavalieri (2004) aponta para o caso de cadeias de suprimentos compostas por empresas independentes. O paradigma da simulação centralizada está se tornando de difícil manutenção à medida que a rede cresce em tamanho.

Políticas de privacidade distintas para acesso aos dados relevantes e a baixa interoperabilidade dos modelos de simulação adotados pelas diversas organizações que a compõem tornam o custo de manter uma estrutura de simulação centralizada cada vez mais proibitivo.

Segundo os autores, a solução converge para o uso de plataformas de computação distribuída e paralela com adoção de *middleware* que encapsule a troca de informações e serviços entre os diferentes módulos de simulação.

Esta solução resulta em escalabilidade do modelo, sem custosos upgrades ou alterações de código nos diferentes simuladores distribuídos ao longo da cadeia de suprimentos, além de evitar que dados relevantes ou sensíveis sejam compartilhados, pois o *middleware* estabelece uma fronteira entre o simulador local e o resto da rede.

O protocolo *High Level Architecture* (HLA) foi criado para permitir a interoperabilidade entre modelos de simulação. Inicialmente desenvolvido pelo departamento de defesa americano com propósitos militares demonstrou ser uma candidato promissor de *middleware* para uso civil em modelos de simulação distribuídas.

Recentemente o protocolo HLA se tornou norma do *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE) sob a denominação IEEE-1516 (IEEE, 2013).

Pode-se citar trabalhos recentes da aplicação da arquitetura distribuída utilizando o protocolo HLA como padrão de interoperabilidade para simulações dentro do contexto de cadeias de suprimentos (LONG; LIN; SUN, 2011; BRUZZONE; FADDA; FANCELLO, 2011; HONGYU; XIA ;YAN, 2010; KUBAT; UYGUN, 2007; IANNONE; MIRANDA; RIEMMA, 2007).

### 2.3.3 Problemas Abordados pela Simulação de CS

Tako Robinson (2012) propõem uma classificação para os principais problemas abordados na literatura científica no estudo de cadeias de suprimentos utilizando a modelagem e simulação.

Apesar de seu trabalho incluir somente as técnicas de simulação de eventos discretos e sistemas dinâmicos, esta taxonomia pode ser aplicada para qualquer

técnica de simulação. A classificação está descrita no (QUADRO 7), bem como a caracterização do problema, ordenados do nível estratégico (longo-prazo), para o nível tático (médio-prazo) e operacional (curto-prazo).

Os estudos científicos no campo da Pesquisa Operacional geralmente envolvem o modelamento matemático de sistemas complexos que procuram extrair com a maior fidelidade possível a essência do fenômeno em foco. Pode-se dizer que a escolha do modelo a ser usado é um fator determinante para atingir este objetivo (SIEBERS *et al.*, 2007).

No caso de simulações de eventos discretos, apesar de sua dificuldade matemática no modelamento e implementação de sistemas complexos como cadeias de suprimentos, trata-se de uma técnica poderosa para mimetizar com realismo o comportamento de fenômenos submetidos a entradas estocásticas (YOO; CHO; YÜCESAN, 2010).

Para a simulação de fenômenos incluídos no escopo de “Política de Ressuprimentos” (QUADRO 7) predomina o uso da técnica de simulação a eventos discretos (TAKO; ROBINSON, 2012).

O perfil da demanda e o *lead time* do fornecedor, componentes que podem conter alto grau de incerteza, tem impacto direto no desempenho destas políticas. Portanto o efeito randômico de tais variáveis pode ser facilmente incorporados ao modelo de simulação por eventos discretos.

PROBLEMA	DESCRIÇÃO
Estrutura da CS	Especificação da CS, configuração da CS, conexões sequenciais entre as diferentes atividades ou processos. Decisões típicas tomadas estão relacionadas ao fluxo de materiais entre as fases, o envolvimento ou não de intermediários, configuração de cadeias puxadas ou empurradas, etc
Mudança de processo	Mudanças em sua estrutura (instalações, processos de produção, transporte) e processos. Explora processos de transformação física de modo a simplificar a tomada de decisão e controlar/reduzir desperdício (Total Quality Management, Just-in-Time, Kaizen, etc...). Problemas associados com gerenciamento estratégico e requerem um entendimento global dos processos de negócio.

QUADRO 7 – UMA TAXONOMIA PARA QUESTÕES ABORDADAS EM CS  
FONTE: ADAPTADO DE TAKO E ROBINSON (2012).

(CONTINUA)

PROBLEMA	DESCRIÇÃO
Seleção de fornecedores	Relacionado a contratos, processo de aquisição de matérias-primas necessárias para produzir bens acabados ou para apoiar as operações de uma empresa. A seleção de intermediários ou fornecedores é feita com base na avaliação das ofertas de aquisição de vários produtos ou fornecedores.
Instalações/Planejamento da capacidade	Determinação da função de instalações e processos a serem executadas, localização de instalações e alocação de capacidade, etc. Estas decisões são geralmente ligadas com os objetivos e visão de longo prazo das empresas ou parceiros na cadeia e, portanto, considerado uma questão estratégica.
Desempenho do sistema	O desempenho da CS é avaliada através de uma série de critérios, tais como o custo de transporte, utilização de recursos, nível de estoque, o tempo de ciclo do pedido, performance de entrega, etc
Efeito chicote	O fenômeno da ampliação do montante de pedidos ao longo do lado upstream da CS.
Integração da CS	Permite a cooperação de dois ou mais sistemas em busca de objetivos complementares. Esta categoria inclui uma série de mecanismos de coordenação, tais como: <i>vendor managed inventory</i> (VMI), descontos de quantidade, flexibilidade da quantidade, regras de alocação, resposta rápida, parcerias estratégicas, etc.
Compartilhamento de informações	Subconjunto de mecanismos de integração da CS, que visam reduzir o efeito chicote e melhorar o seu desempenho. Alguns dos obstáculos encontrados em operacionalizar essas estratégias são a relutância das empresas para compartilhar informações sobre as vendas, demanda, produção e entrega, níveis de estoque, etc. Considerado como uma categoria à parte, devido ao grande número de trabalhos sobre o compartilhamento de informações.
Otimização da CS	Otimização da CS, preocupado principalmente com a identificação de políticas ótimas que maximizam ou minimizam os indicadores-chave de desempenho, tais como lucros, custos, fluxos de produtos, etc
Redução de custos	A redução de custos é muitas vezes a consequência de várias políticas desenvolvidas, tais como o intercâmbio eletrônico de dados (EDI), gerenciamento de estoque, etc
Políticas de ressuprimento	Estratégias para lidar com o controle dos níveis de estoque nos elos da cadeia de abastecimento e política de compras. Objetivo : ter a quantidade do produto certo no local certo e na hora certa. A escolha de políticas de reposição de estoques visa alcançar estoques baixos, mantendo altos níveis de serviço.

QUADRO 7 – UMA TAXONOMIA PARA QUESTÕES ABORDADAS EM CS  
 FONTE: ADAPTADO DE TAKO E ROBINSON (2012).

(CONTINUA)



PROBLEMA	DESCRIÇÃO
Planejamento e gestão de Inventário	Dispõe sobre a gestão e movimentação de mercadorias ao longo da CS. Estudos sobre planejamento de estoque e foco gerencial na otimização dos níveis de serviço ou tempo de processo, variando a localização ou quantidade de inventário. Em cada elo, a decisão é feita para gerenciar o inventário com base em níveis de estoque, custo de manutenção de estoque, custos de excesso de estoque e políticas de controle de reabastecimento.
Planejamento e programação da produção	Planejamento e programação da produção trata da gestão de processos de produção e as políticas que determinam a configuração da sequência de produção e alocação de recursos, movimentação de materiais, programação de máquinas e centros de trabalho. Os modelos de simulação frequentemente estão preocupados com o efeito de diferentes regras de planejamento de produção sobre o desempenho da cadeia de suprimentos.
Planejamento da distribuição e transporte	Dispõe sobre a movimentação física dos estoques (produtos, materiais) de um estágio da cadeia de abastecimento para o outro. Algumas decisões tomadas são: o projeto da rede de transporte, a escolha do modal, a gestão da frota de veículos (roteamento e programação de entregas), etc
Regras de expedição	Decisões tomadas em relação ao atendimento de pedidos de clientes específicos, considerando-se a data de entrega de um lado e por outro lado a utilização dos recursos da manufatura.
Logística Reversa	A logística reversa está preocupada com a recuperação de produtos como peças de reposição ou produtos reciclados no final do seu ciclo de vida. Recuperação do produto é impulsionado por incentivos econômicos e ambientais, que ao mesmo tempo afeta a produção das empresas e as atividades de coleta.

QUADRO 7 – UMA TAXONOMIA PARA QUESTÕES ABORDADAS EM CS (CONTINUAÇÃO)  
 FONTE: ADAPTADO DE TAKO E ROBINSON (2012).

#### 2.3.4 Modelos de Simulação de CS que Abordam a Política de Ressuprimentos

Vários são os trabalhos encontrados na literatura científica que procuram solucionar o conflito entre manter níveis de estoques a níveis mínimos frente a incertezas da demanda e do *lead time* e a o mesmo tempo oferecer um nível de serviço que satisfaça o cliente.

Van Der Vorst, Beulens e Van Beek (2000), em estudo de caso, modelaram o fluxo *downstream* de uma cadeia de suprimentos multinível do segmento de

saladas frias baseados em quatro componentes: Variáveis de níveis estratégico e operacional, processos de negócio, entidades de negócio e indicadores de desempenho.

Aplicando em campo os cenários ótimos obtidos através da simulação, conseguiu-se diminuir o estoque médio da cadeia, aumentou-se a frequência de entregas de produtos frescos além de reduzir o *lead time* de fornecimento.

Fleischmann, Van Nunen e Gräve (2003) em cooperação com o time de logística da empresa IBM demonstraram através de modelo de simulação discreta de eventos que integrar o canal de desmontagem de peças para reuso de peças para atender sua rede de serviços resultou em grande economia em relação ao custo de aquisição de estoque de peças.

Em cadeias de suprimentos as quais o compartilhamento de informações é extenso e existe um ambiente de parceria entre empresa fornecedora e empresa cliente, é comum uma modalidade de negócios denominada *Vendor Managed Inventory* (VMI), quando é o fornecedor que se responsabiliza pelo nível de estoque do cliente e pelo sua reposição (PIRES, 2009).

Angulo, Nachtmann e Waller (2004) através do uso de simulação discreta de eventos examinam os efeitos do atraso da acurácia da informação sobre as vendas e previsões em face de demandas estacionárias e não estacionárias sobre medidas de desempenho como o custo total dos estoques e a taxa de atendimento em uma cadeia de suprimentos com gestão de estoques VMI.

Longo e Mirabelli (2008), desenvolveram na plataforma de simulação de eventos discretos EM-Plant da Siemens um modelo de cadeia de suprimentos escalar, flexível e paramétrica de alto desempenho.

Os autores utilizaram para validar o modelo uma cadeia nove lojas, quatro centros de distribuição e três fábricas que forneciam um portfólio de vinte produtos diferentes. Utilizando-se um conjunto de quatro fatores (política de estoque, intensidade e variabilidade da demanda, *lead time*), com até quatro níveis diferentes, foi elaborado um conjunto de 108 cenários, replicados três vezes.

Levando-se em consideração o número de elementos da cadeia de suprimentos, o número total de experimentações chegou a quase duzentos e cinquenta mil, executadas em cerca de 6 horas de simulação.

A análise estatística dos resultados levou os autores a identificarem as iterações entre os fatores que determinam o melhor nível de serviço na cadeia de

suprimentos objeto do estudo, dessa forma demonstrando a utilidade do modelo como ferramenta de apoio à decisão.

Dependendo do fenômeno que se deseja estudar, a simulação pode ser combinada com técnicas de otimização. Lim *et al.* (2006) apresentaram uma técnica híbrida que combina programação linear inteira e simulação de eventos discretos utilizadas em uma cadeia de suprimentos multinível.

Utilizando-se da técnica de programação linear determinou-se as capacidades de produção e armazenamento das instalações de forma a minimizar seus custos.

Com os parâmetros ótimos calculados, alimentou-se o modelo de simulação aplicando-se diferentes políticas de ressuprimento e comparou-se com os parâmetros de desempenho da cadeia de suprimentos, de forma a identificar o cenário ótimo.

Reiner e Trcka (2004) apresentaram um modelo de simulação em estudo de caso de uma cadeia de suprimentos da indústria alimentícia cujo desempenho mostrou-se robusto, reduzindo o efeito chicote em função da volatilidade da demanda.

Silva (2010) apresentou um modelo de simulação utilizando o software ARENA para o estudo do desempenho de cadeias de suprimentos VMI do ramo de minério de ferro, monitorando as medidas nível do inventário, nível de serviço e custos .

Um modelo elementar de simulação discreta de uma cadeia de suprimentos de quatro estágios e monitora diversas variáveis como por exemplo, demanda aleatória, lead times de produção e de entrega, restrições e necessidades de materiais, estoques de segurança, níveis ótimos de produção etc. é apresentada por Cesar Junior (2005).

Controladores PID tem como função, através de retroalimentação, manter a variável de controle dentro de uma faixa definida. Um estudo comparativo de diferentes estratégias para gestão do estoque em uma cadeia de suprimentos da indústria de embalagens submetidos a variações bruscas de demanda é apresentado por Saad e Kadiramanathan (2006).

Adicionando-se ao modelo de simulação discreta um controlador proporcional diferencial integrativo (PID), os autores sugeriram uma forma inédita de

controlar os níveis de estoque ao longo da cadeia, evitando a ruptura ou excesso de estoque.

## 2.4 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE EM SIMULADORES DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Em modelos de simulação de cadeias de suprimentos muitas vezes a coleta de dados não está disponível em quantidades adequadas ou seu formato ou nível de detalhe requerido não atende as especificações do modelo matemático.

Caso a aproximação seja possível, pode-se emular o comportamento das variáveis estocásticas por meio da utilização de distribuições conhecidas como a distribuição Gaussiana, Poisson, Exponencial, Triangular entre outras (LONGO E MIRABELLI, 2008; MANUJ; MENTZER; BOUWERS, 2009).

Pode-se encontrar estudos dos fenômenos em cadeias de suprimentos modeladas pelas técnicas de simulação de eventos discretos na literatura científica que adotam a distribuição de probabilidade de Poisson como um modelo válido para simular a demanda real (LONGO, 2011a; SILVA, 2010; KIEKINTVELD *et al.*, 2009; LONGO; MIRABELLI, 2008; LIBEROPOULO; KOUKOUMIALOS, 2005; SEN; POKHAREL; YULEI, 2004; FLEISCHMANN; VAN NUNEN; GRÄVE, 2003).

Hwarng *et al.* (2005) afirma que adotar comportamento estocástico para o *lead time* quando a demanda é modelada por uma distribuição de probabilidade ou é uma série histórica coletada de um sistema real é mandatório. Um comportamento determinístico para *lead-time* nestes casos leva a um aumento da média de pedidos não atendidos.

Na ausência de informações sobre a melhor distribuição de probabilidade que modele o *lead time*, utiliza-se como estratégia inicial a distribuição de probabilidade normal (MARIA, 1997).

Existem na literatura trabalhos que abordam simulação de cadeia de suprimentos modelando o *lead time* utilizando-se a distribuição normal, seja como premissa inicial ou verificando-se a gaussianidade da série histórica (LONGO 2011a; SILVA, 2010; STEFANOVIC D.; STEFANOVIC N.; RADENKOVIC, 2009; MANUJ; MENTZER; BOUWERS, 2009; HWARNG *et al.*, 2005).

### 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A proposta desta pesquisa tem como objetivo desenvolver através da simulação computacional uma cadeia de suprimentos escalar e aplicar diferentes políticas de ressuprimentos observando-se o comportamento de vários parâmetros de desempenho como nível de estoque de segurança, erro de previsão, custo de vendas perdidas, taxa de atendimento.

Mediante avaliação destas medidas pode-se concluir se há excesso de estoque, ruptura de estoque, presença do efeito chicote, compondo assim um quadro de desempenho eficiente ou deficiente no que tange à gestão de estoques.

A velocidade do processo de simulação permitirá ao usuário rapidamente aplicar diferentes configurações e comparar resultados, tornando a manipulação prazerosa, estimulando-o procurar respostas para diversas questões.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Fleury *et al.* (2010) destacam que ao se utilizar técnicas computacionais para descrever o funcionamento de um sistema pode-se classificar o método de pesquisa como modelagem.

Pretende-se identificar por meio do modelo de simulação o comportamento do custo de estoque total e nível de serviço de atendimento frente às variações de demanda, tempo de processamento do pedido e política de gestão de estoque, portanto essa pesquisa classifica-se com base em seus objetivos como explicativa (GIL, 2002).

O modelo de simulação fornece elementos para aumentar o entendimento da complexidade de se controlar de maneira eficiente os níveis de estoques em uma cadeia de suprimentos multielos, portanto uma área específica do conhecimento, de acordo com o descrito por Gil (2002) pode-se classificar este trabalho quanto a sua natureza de pesquisa aplicada.

### 3.2 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A cadeia de suprimentos que o modelo representa possui tamanho escalável de até vinte nós por entidade. Os elos da cadeia podem ser classificados em três tipos de entidades:

- a) Entidade LOJA: seu modelo matemático representa uma loja física com intervalos de chegada de clientes representando uma distribuição exponencial e a quantidade de produto adquirido representando uma distribuição triangular;
- b) Entidade CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO: seu modelo matemático representa um atacadista para quais as entidades lojas emitem seus pedidos a medida que a política de ressuprimento definida pela entidade loja define necessidade de novo pedido. O tempo de entrega, ou *lead time*, é representado por uma função de distribuição gaussiana;
- c) Entidade FÁBRICA: seu modelo matemático simplificado representa o fabricante do produto, para as quais as entidades centros de distribuição emitem pedidos de acordo com a sua política de ressuprimento. A simplificação ocorre porque neste modelo considera-se sua capacidade infinita. O tempo de entrega também é representado por uma distribuição gaussiana.

As funções de distribuição de probabilidade selecionadas, de acordo com a literatura científica, apresentam a melhor aderência na representação dos fenômenos físicos que se pretende modelar nesta simulação.

A representação gráfica do modelo pode ser visto na (FIGURA 17) abaixo. Considerou-se que aumentar o tamanho da rede de suprimentos além do limite especificado, não causará melhoria correspondente no entendimento da dinâmica de gestão de estoques.

O uso intensivo de memória trata-se de outro ofensor que limita o tamanho da cadeia de suprimentos. Observou-se durante os testes o uso intensivo de memória, chegando a picos da ordem de 1 gigabyte.

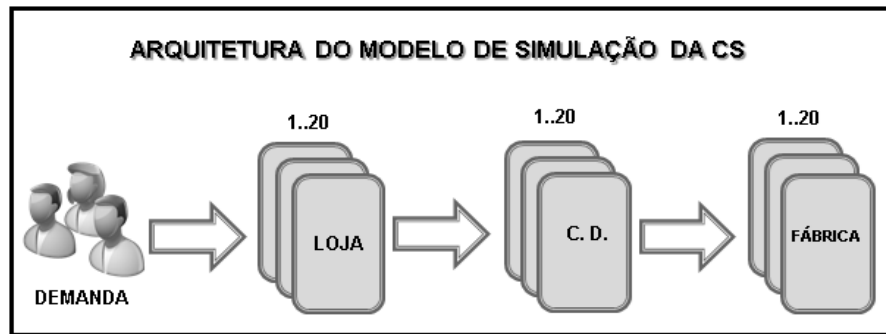


FIGURA 17 – ARQUITETURA DO MODELO DE CS  
FONTE: O AUTOR

Com objetivo de simplificar a instalação e não depender de aplicativo externo, o uso de banco de dados foi descartado, portanto os cálculos matemáticos executados pelo algoritmo bem como os resultados ao longo da simulação, são armazenados em memória RAM.

O (QUADRO 8) a seguir apresenta todas as medidas de desempenho cuja evolução poderá ser observadas por meio de gráficos ou numericamente ao final do período de simulação para cada entidade.

PARÂMETROS DE DESEMPENHO				
MEDIDA	CÁLCULO	ENTID.	PER.	POLÍTICA DE RESSUP.
Estoque de Segurança	Equação (5) ou (7)	Loja CD	Semanal	Rev. Contínua
ROP	Equação (6)	Loja CD		Rev. Contínua
Custo Venda Perdida	$\sum \text{Produtos Venda Perdida} \times \text{Taxa Venda Perdida}$	Loja CD	Diário	Rev. Contínua/ Rev. Periódica
Ponto Ótimo do Pedido ( $Q^*$ )	Equação (3)	Loja CD	Semanal	Rev. Contínua/ Rev. Periódica
Período de Ressuprimento ( $T^*$ )	Equação (8)	Loja CD	Semanal	Rev. Periódica
Valor Máximo do Estoque ( $M^*$ )	Equação (9)	Loja CD	Semanal	Rev. Periódica
Custo total do Estoque	$  \begin{aligned}  &(\text{Estoque Físico} + \text{Estoque Transito}) \times \text{Custo Unitário} \\  &+ \sum \text{Custos Aquisição} \\  &+ \sum \text{Custos Vendas Perdidas} \\  &+ \sum \text{Estoque Físico} \times \text{Taxa Diária Manutenção Estoque}  \end{aligned}  $	Loja CD	Diário	Rev. Contínua/ Rev. Periódica
Valor Médio Lead-Time Fornecedor	$\sum \frac{\text{LeadTime cada Pedido}}{\text{Nr Pedidos}}$	Loja CD	Diário	Rev. Contínua/ Rev. Periódica

QUADRO 8 – MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA O MODELO DE SIMULAÇÃO DA CS  
FONTE: O AUTOR

(CONTINUA)

PARÂMETROS DE DESEMPENHO				
MEDIDA	CÁLCULO	ENTID.	PER.	POLÍTICA DE RESSUP.
Desvio Padrão Média Lead-Time Fornecedor	$\sqrt{\sum \frac{(LeadTime\ cada\ Pedido - LeadTimeMedio)^2}{(Nr\ Pedidos - 1)}}$	CD Fábrica	Diário	Rev. Contínua/ Rev. Periódica
Estoque em Trânsito	$\sum Pedidos\ em\ Trânsito - \sum Itens\ Vendidos$	CD Fábrica	Diário	Rev. Contínua/ Rev. Periódica
Posição de Estoque	Estoque em Trânsito + Estoque Físico	Loja CD	Diário	Rev. Contínua/ Rev. Periódica
Erro de Previsão	Quadro 8	Loja CD	Semanal	Rev. Contínua/ Rev. Periódica
Taxa de Atendimento	$\frac{\sum Clientes\ Atendidos}{\sum Número\ Total\ de\ Clientes}$	Loja CD	Diário	Rev. Contínua/ Rev. Periódica

QUADRO 8 – MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA O MODELO DE SIMULAÇÃO DA CS  
FONTE: O AUTOR (CONTINUAÇÃO)

### 3.2.1 Temporização

Definiu-se para as entidades uma jornada de trabalho de 8 horas diária contínuas (dias úteis e fim de semana), que começa as 08:00h e termina as 16:0h, neste período sempre haverá clientes entrando em intervalos definidos pela média da distribuição exponencial.

O (QUADRO 9) abaixo representa um dia típico de um loja cujo intervalo de chegadas de clientes obedece um exponencial com média de 115 minutos e a quantidade desejada pelo cliente na hora da compra segue uma distribuição triangular com valor máximo de seis unidades, valor médio de três unidades e mínimo de uma unidade.

ENTIDADE LOJA	DIA SIMULACAO	HORARIO	QTDADE
LOJA 1	DIA 1	08:03:26	3
		10:24:24	2
		12:55:31	3
		14:07:59	4
		09:34:14	4
		09:51:53	3
		10:50:07	2
		11:41:09	3
		15:55:58	3
	DIA 2	10:02:52	5
		11:33:40	2
		13:12:00	6
		13:44:31	3
		08:08:02	3
		09:33:48	4
		10:16:08	2
		10:26:22	5
		11:10:25	4
		12:12:48	3
		13:34:43	2

QUADRO 9 – HORÁRIO DE CHEGADA DOS CLIENTES  
FONTE: O AUTOR



Os horários para as entidades Centros de distribuição e Fábricas não são levados em consideração, uma vez que os pedidos são monitorados por data de expedição e data de recebimento.

Os pedidos são emitidos ao longo da jornada de trabalho, sempre que a política de estoque determinar, e são recebidos e o estoque atualizado no começo da jornada de trabalho na data de recebimento.

### 3.2.2 O Algoritmo de Simulação

Neste item são descritos a natureza da iteração entre cada entidade da cadeia de suprimentos, a estratégia da escolha do fornecedor para a política de gestão de estoque do tipo revisão contínua, o ajuste do *lead time*, a injeção de variações bruscas na demanda das entidades Lojas, a componente de tendência para a demanda das entidades Lojas e o cálculos dos custos de estoque.

#### 3.2.2.1 Iteração Entre as Entidades

Definiu-se 3 tipos de iterações para as entidades :

- a) Cliente↔Loja: O evento físico “cliente comprando na loja” é representado pela função de densidade de probabilidade (f.d.p.) exponencial e triangular. Apresenta dois resultados, compra efetuada ou venda perdida caso não haja estoque físico para atender o cliente. Não existe compra em aberto nesta iteração;
- b) Loja↔Centro de Distribuição: A iteração acontece através da emissão e recepção de pedidos, os pedidos podem ser fracionados. A (FIGURA 18) abaixo representa os quatros cenários que podem acontecer ao emitir-se um pedido para o centro de distribuição. O algoritmo de simulação verifica se o estoque físico do centro de distribuição escolhido atende o pedido (cenário 1 da FIGURA 18) na íntegra. Caso contrário, (cenário 2 e 3 da FIGURA 18), parte do pedido é atendido

pelo estoque físico sendo então fechado e seu *lead time* determinado pela f.d.p gaussiana cuja média e desvio padrão são configurados pelo usuário. O saldo será atendido em novo pedido pelo estoque em trânsito, caso exista disponibilidade. O atraso correspondente à chegada do pedido em trânsito é adicionado ao *lead time* normal do fornecedor. Na impossibilidade do estoque em trânsito não atender o saldo (cenário 3 da FIGURA 18), um novo pedido é mantido em aberto até o momento em que a posição de estoque seja suficiente para seu atendimento. Tanto para o pedido atendido pelo estoque em trânsito como para o pedido em atraso, o *lead time* do centro de distribuição é ajustado para contabilizar estes atrasos. O *lead time* será detalhado no item 3.2.2.3. No caso de estoque físico zero (ruptura do estoque), o pedido passa a ser atendido integralmente pelo estoque em trânsito (cenário 4 da FIGURA 18). Se o estoque em trânsito não pode atender o pedido integralmente, um pedido com saldo residual é mantido em aberto até o atendimento;

- c) Centro de Distribuição↔Fábrica: A interação acontece através da emissão e recepção de pedidos, entretanto neste caso o pedido será sempre atendido pelo estoque físico da fábrica, uma vez que sua capacidade é infinita. A data de entrega segue uma distribuição gaussiana com média e desvio padrão configurados pelo usuário. Dessa forma, o primeiro cenário da (FIGURA 18) sempre irá ocorrer ao emitir-se um pedido para a fábrica.

### 3.2.2.2 A estratégia de Escolha do Fornecedor.

Definiu-se as seguintes estratégias para seleção do fornecedor, atribuídas em tempo de configuração pelo usuário:

- a) Fornecedor Fixo: O fornecedor tanto para a entidade Loja quanto para a entidade Centro de Distribuição é fixo. É irrelevante se tais fornecedores tem baixo desempenho em atender o cliente no cenário de simulação, somente estes fornecedores escolhidos serão

acionados. No caso da política de gestão de estoque por revisão periódica, o fornecedor será sempre fixo;

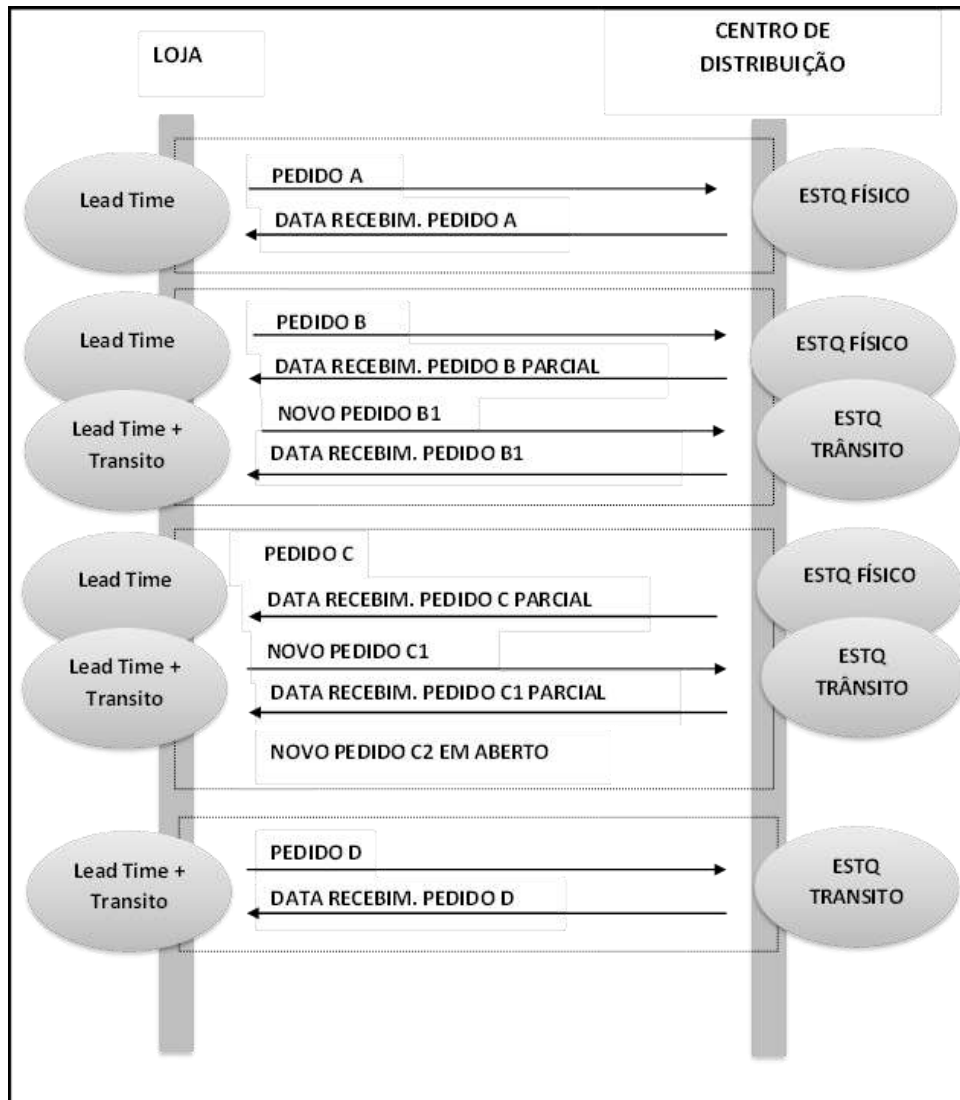


FIGURA 18 – ITERAÇÃO ENTRE AS ENTIDADES LOJA E CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO  
FONTE: O AUTOR

- b) Menor ROP: Válido somente para política de gestão de estoque por revisão contínua. Ativando esta opção, o algoritmo de simulação buscará sempre pelo menor nível de ROP avaliando todos os fornecedores da cadeia de suprimentos. O algoritmo de seleção do fornecedor pelo melhor ROP segue um conjunto de regras que são definidas no fluxograma da (FIGURA 19) abaixo. O objetivo desta estratégia é sempre procurar emitir o pedido de ressuprimento com a menor posição de estoque possível, o que proporciona uma redução no custo de estoque total.

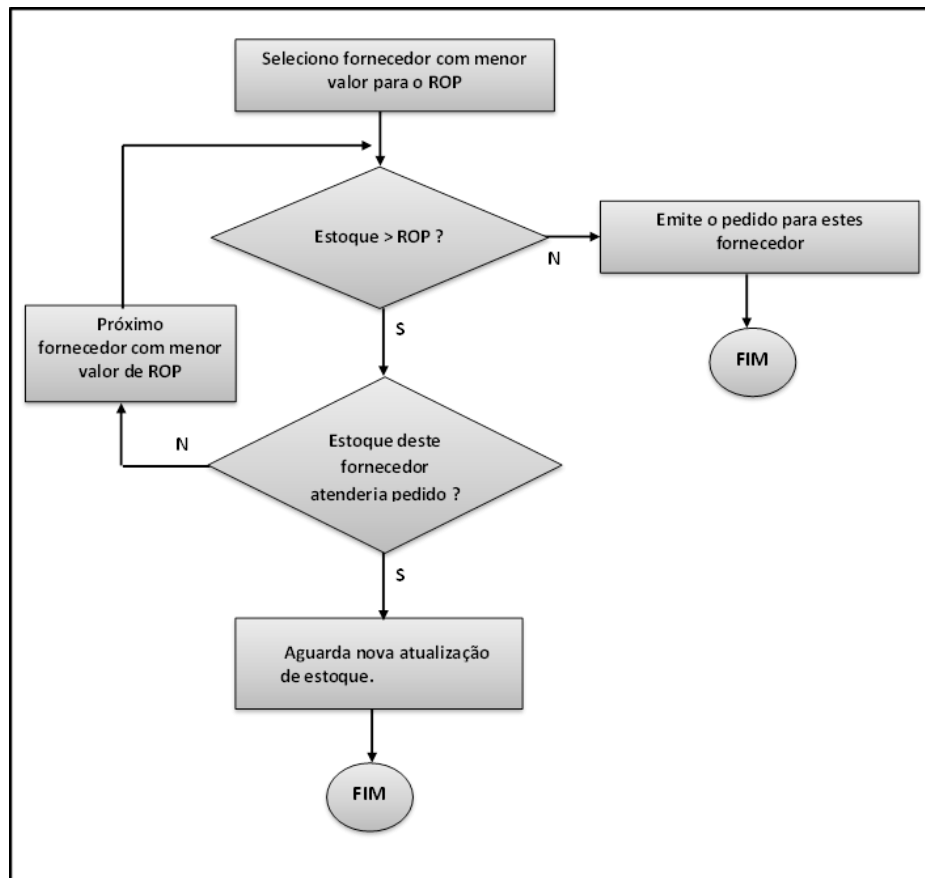


FIGURA 19 – ALGORITMO ESCOLHA DE FORNECEDOR PELO MENOR VALOR DO ROP  
 FONTE: O AUTOR

### 3.2.2.3 Lead Time Ajustável

O *lead time* é definido pela média e desvio padrão das distribuições gaussianas, definido pelo usuário ao configurar a entidade Centro de Distribuição e Fábrica. Entretanto o valor real da média e do desvio padrão podem ser maiores dependendo do desempenho destas entidades em atenderem os pedidos de ressuprimento.

O algoritmo de simulação armazena os tempos de entrega de cada pedido e constantemente atualiza os a média e o desvio padrão do *lead time* para cada entidade. Pode-se usar como exemplo a (FIGURA 18) e os pedidos “C” “C1” e “C2” enviados da entidade Loja para a entidade Centro de Distribuição. Para o pedido “C” o *lead time* computado será o *lead time* aleatório de acordo com a distribuição

gaussiana configurada pelo usuário, pois parte do pedido é atendido pelo estoque físico.

No caso do pedido “C1” seu *lead time* será acrescido da espera do pedido vindo da fábrica, pois ainda está em trânsito, o pedido “C2” o *lead time* poderá ser ainda maior, pois está em aberto e só será fechado quando houver estoque disponível.

Desta forma, os fornecedores que sofrem um aumento do *lead time* médio por causa do atraso da entrega por insuficiência de estoque físico podem levar seus clientes a aumentarem o valor do estoque de segurança, o que implica em um maior custo total de estoque.

É importante destacar que para a política de controle de estoque por Revisão Contínua e quando o critério de seleção do fornecedor é pelo menor ROP, os cálculos da média e do desvio padrão não são únicos para cada fornecedor.

Por exemplo, a entidade “C.D. 1” tem um valor de *lead time* de 13,4 dias e desvio padrão de 1,3 dias para os pedidos entregues à entidade “Loja 3”, ao passo que para os pedidos enviados da entidade “C.D. 1” para a “Loja 2” o *lead time* médio é de 14,3 dias e desvio padrão de 0,9 dias. Assim cada entidade Centro de distribuição tem  $n$  valores de *lead time* distintos sendo  $n$  o número de entidades Loja, idêntico raciocínio é válido entre as entidades Centro de Distribuição e Fábrica.

Devido a premissa de capacidade infinita para as fábricas, o *lead time* médio efetivo da entidade Fábrica não será diferente da média configurada pelo usuário.

#### 3.2.2.4 Estrutura Algoritmo de Simulação

A estrutura do algoritmo de simulação é visualizada no fluxograma apresentado na (FIGURA 20). Suas etapas são repetidas em *loop* para cada dia de simulação. O processo termina quando o enésimo dia mais um de simulação é identificado.

Detalha-se a seguir o funcionamento de cada etapa do algoritmo:

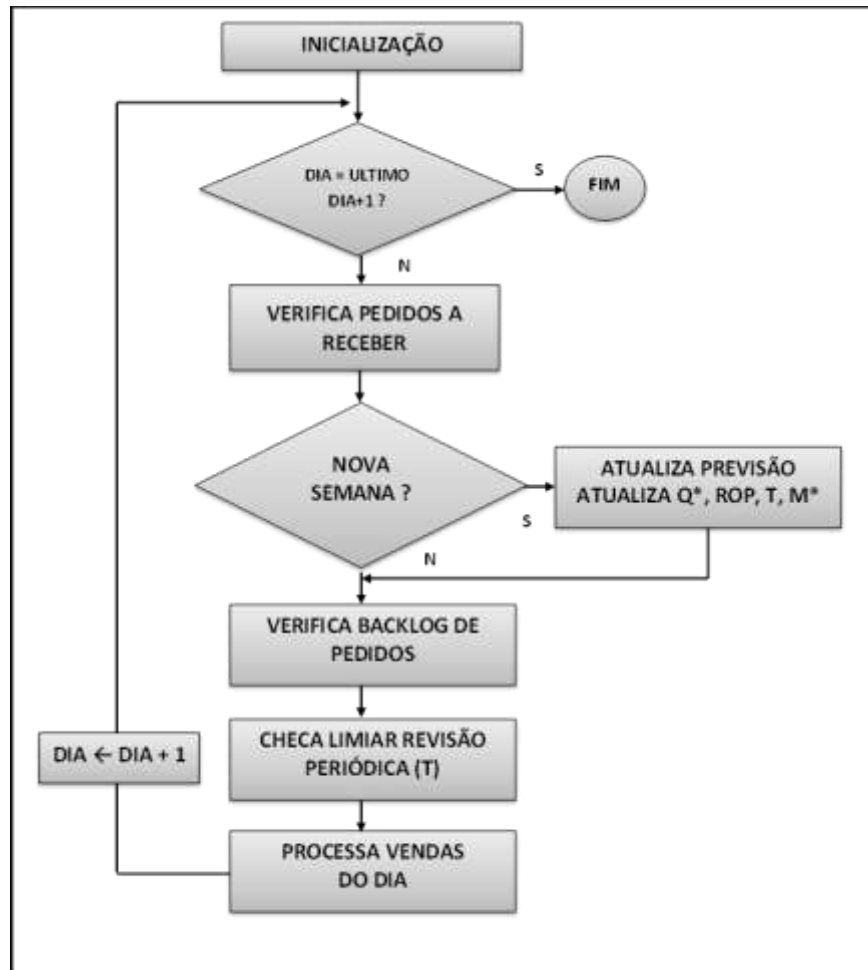


FIGURA 20 – O ALGORITMO DE SIMULAÇÃO  
 FONTE: O AUTOR

### A INICIALIZAÇÃO

O algoritmo, baseado nas distribuições estatísticas configuradas pelo usuário para a demanda das entidades Loja, gera a demanda das lojas por quatro semanas e calcula seu valor médio e desvio padrão. Assume-se este valor médio como o primeiro valor de previsão e o seu desvio padrão como o valor para o primeiro erro de previsão. Por exemplo se a demanda das primeiras quatro semanas para a entidade “Loja 1” for S(1) : 122 unidades; S(2) : 71 unidades; S(3) : 100 unidades; S(4) : 28 unidades. Portanto a demanda média prevista calculada será de 80 unidades/semana, e o erro de previsão será de 40,62 unidades.

Objetiva-se com este cálculo partir de um ponto inicial que não seja completamente randômico, sendo o erro de previsão proporcional ao desvio padrão da demanda, assumiu-se o desvio padrão como o valor do RMSE do erro da primeira previsão. O valor de quatro semanas foi arbitrado de forma empírica.

Para a entidade centro de distribuição, o primeiro valor de previsão é definido como o somatório das demandas das entidades Loja em cada semana, dividido pela quantidade de entidades centros de distribuição. Por exemplo, caso a cadeia de suprimentos seja formada por uma rede de quatro lojas e dois centros de distribuição com os seguintes perfis de demanda nas primeiras quatro semanas pré-simulação:

- LOJA 1 → S(1) : 122 Unds.    S(2) : 71 Unds.    S(3) : 100 Unds.    S(4) : 28 Unds.
- LOJA 2 → S(1) : 74 Unds.    S(2) : 48 Unds.    S(3) : 32 Unds.    S(4) : 63 Unds.
- LOJA 3 → S(1) : 59 Unds.    S(2) : 30 Unds.    S(3) : 25 Unds.    S(4) : 22 Unds.
- LOJA 4 → S(1) : 25 Unds.    S(2) : 34 Unds.    S(3) : 26 Unds.    S(4) : 14 Unds.

Neste caso a demanda de todos as entidades Centro de Distribuição para as quatro semanas de pré-simulação é definida como :

- CD 1 → S(1) : 139    S(2) : 91 Unds.    S(3) : 91 Unds.    S(4) : 63 Unds.
- CD 2 → S(1) : 139    S(2) : 91 Unds.    S(3) : 91 Unds.    S(4) : 63 Unds.

Calcula-se, no caso das entidades Centro de Distribuição, a previsão para a primeira semana de simulação o valor médio de 96 Unds./semana e para o erro de previsão o desvio padrão de 31,56 Unds.

Da mesma forma que não há histórico de demanda antes do início da simulação, não há histórico de pedido, logo se assume o valor de *lead time* configurado pelo usuário nas janelas de configuração da entidade Centro de Distribuição e Fábrica.

De posse dos valores de *lead time*, previsão e erro de previsão para a primeira semana de simulação, calcula-se então os parâmetros das políticas de gestão de estoque  $Q^*$ , ROP,  $M^*$  e  $T^*$  para todas as entidades Loja e Centro de Distribuição.

Finalmente, antes de iniciar-se a simulação, é populada a fila de eventos de chegada de clientes na loja durante o primeiro dia de simulação e a fila de eventos futuros (estas estruturas serão detalhadas a seguir), e posiciona-se o ponteiro que determina o tempo de simulação para o dia um.

#### VERIFICA PEDIDOS A RECEBER

Caso existam pedidos de ressuprimento a receber em determinada data de simulação, a rotina responsável pela verificação dos pedidos atualiza o valor do estoque em transito e o valor do estoque físico. Para as entidades Centro de

Distribuição, é necessário verificar também se parte do lote recebido não está vendido, dessa forma é necessário subtrair da incorporação do estoque esta quantidade, têm-se, portanto:

a) Entidade Loja:

$$\begin{aligned}\text{ESTQ. TRANSITO} &= \text{ESTQ. TRANSITO} - \text{RECEBIDO} \\ \text{ESTQ FÍSICO} &= \text{ESTQ FÍSICO} + \text{RECEBIDO}\end{aligned}$$

b) Entidade Centro de Distribuição:

$$\begin{aligned}\text{ESTQ. TRANSITO} &= \text{ESTQ. TRANSITO} - (\text{RECEBIDO} - \text{VENDIDO}) \\ \text{ESTQ FÍSICO} &= \text{ESTQ FÍSICO} + (\text{RECEBIDO} - \text{VENDIDO})\end{aligned}$$

Para a entidade Fábrica, não existe recebimento de pedidos, devido a premissa de capacidade de produção infinita.

### *ATUALIZA PREVISÃO E PARÂMETROS DAS POLÍTICAS DE RESSUPRIMENTO*

A rotina de simulação ao detectar o início da próxima semana, aciona a rotina que atualiza os parâmetros das políticas de ressuprimento que são dependentes do valor da previsão da demanda, e também atualiza o histórico de valores de demanda realizada para todas as entidades. Contabilizada a demanda da semana anterior, nova previsão é calculada e o erro de previsão é atualizado (uma vez que a previsão da semana anterior pode ser comparado com a demanda realizada recém contabilizada).

Finalmente, os parâmetros da política de revisão contínua  $Q^*$ , e ROP e os parâmetros da política de revisão periódica  $T^*$  e  $M^*$  são atualizados para a semana atual.

### *VERIFICA BACKLOG DE PEDIDOS*

Pedidos de ressuprimento em aberto são tratados por esta rotina. Os pedidos são priorizados por data de chegada. Dessa forma pedidos mais antigos, caso haja posição em estoque, serão atendidos primeiro. O pedido de *backlog* é interpretado pelo algoritmo de simulação como um pedido normal, portanto na hipótese do pedido de *backlog* ainda ser atendido parcialmente, o pedido de *backlog* é fechado e novo pedido em aberto é criado (veja cenários da FIGURA 18) até o



pedido original ser completamente atendido. A única diferença é o que os dias em atraso serão adicionados ao *lead time* enquanto o pedido ficou em aberto.

Na prática só poderão existir *backlogs* de pedidos na entidade Centro de Distribuição, uma vez que a entidade Fábrica assumiu-se como premissa ter capacidade de produção infinita e portanto, nunca haverá pedidos em aberto para este tipo de entidade.

#### *CHECA LIMIAR DE REVISÃO PERIÓDICA ( $T^*$ )*

Entidades cuja política de estoque configurada é de Revisão Contínua são tratadas por esta rotina. O valor de  $T^*$  determina o tempo de ressuprimento, assim verifica-se o intervalo de tempo do último pedido de ressuprimento e compara-se com o valor  $T^*$ , caso seja igual a  $T^*$ , emite-se um novo pedido.

Para evitar qualquer tendência, a ordem de verificação obedece uma fila circular. Por exemplo, caso existam cinco entidades Loja configuradas para a política de estoque por revisão periódica, a ordem atual de verificação é 1-2-3-4-5.

Na próxima vez que esta rotina for invocada, a nova ordem de atendimento será 2-3-4-5-1, garantindo igual preferência para todas as entidades.

#### *PROCESSA VENDAS NO DIA*

Nesta rotina são tratados os eventos da fila de chegadas de clientes nas entidades Loja da cadeia de suprimentos para o dia de simulação corrente. A cada cliente o algoritmo:

- a) Avalia se a quantidade em estoque é suficiente para atender o cliente;
- b) Caso seja suficiente, atualiza o estoque físico, caso política de estoque seja de revisão contínua, verifica a necessidade de ressuprimento de acordo com a estratégia de seleção do fornecedor;
- c) Caso não seja suficiente, atualiza os registros que contabilizam venda perdida.

#### *ATUALIZA FILA DE EVENTOS DE CHEGADA DE CLIENTES*

Ao terminar todos os eventos da fila de chegadas de clientes das entidades Loja, a fila é zerada e então populada com todos os eventos relacionados ao próximo dia de simulação. Esse processo é realizado em duas etapas como pode ser visualizado no fluxograma da (FIGURA 21): Transferindo os eventos da fila de eventos futuros, e lendo os eventos restantes relacionados ao novo dia de simulação.

Para ilustrar a lógica, tome-se como exemplo duas entidades do tipo Loja com média de intervalo de chegada de clientes de vinte minutos (LOJA 1) e outra loja com uma média de trezentos minutos (LOJA 2). A rotina que gera os horários de chegadas pode em determinado momento informar que às 12:25h do dia corrente de simulação um cliente está entrando na LOJA 1 ao passo que na LOJA 2, devido ao fato da média ser muito maior, o evento pode acontecer às 08:40h do dia seguinte.

Dessa forma, o algoritmo não pode descartar este evento em avanço, e os armazena na fila de eventos futuros.

Ao se incrementar o dia, a rotina transfere da fila de eventos futuros para a fila de eventos da fila de chegadas de clientes todos os eventos que pertencem ao dia incrementado. Entretanto é necessário verificar se ainda existem eventos nas entidades Loja que podem acontecer ainda no dia incrementado. Caso o evento pertença a uma data futura, armazena-se novamente na fila de eventos futuros e o processo se repete.

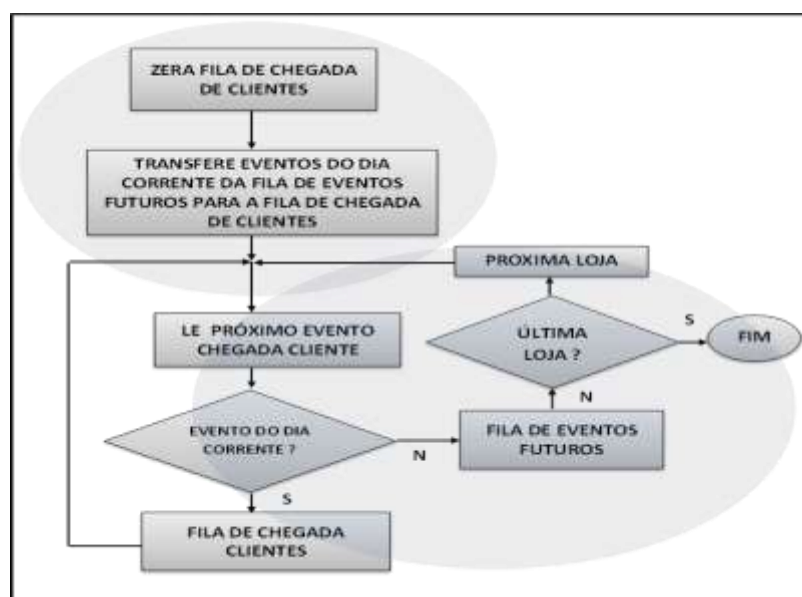


FIGURA 21 – FLUXOGRAMA DE ATUALIZAÇÃO DA FILA DE EVENTOS CHEGADA CLIENTE

FONTE: O AUTOR

### 3.2.2.5 Variações Bruscas na Demanda

Para observar-se o comportamento das políticas de estoque frente a variações bruscas de demanda, é possível alterar o valor da média da exponencial que modela o intervalo de chegadas de clientes às entidades Loja durante um período de tempo finito determinado pelo usuário.

Considere  $T$  o intervalo de chegada de clientes em segundos, e  $V$  a intensidade da variação em porcentagem. A variável  $T'$  trata-se do valor médio modificado da exponencial que modela o intervalo de chegada dos clientes.

O algoritmo do software de simulação, para variações negativas no valor médio do intervalo de chegada de clientes, aplica a seguinte equação:

$$T' = T * \left(1 + \frac{|V|}{100}\right) \quad (3.1)$$

Caso a variação seja positiva, aplica-se a equação:

$$T' = \frac{T}{1 + \frac{V}{100}} \quad (3.2)$$

A equação (3.1) aumenta o intervalo de chegadas em relação à  $T$ , resultando em menos clientes comprando nesta entidade Loja ao longo do dia.

Ao contrário para a equação (3.2),  $T'$  apresenta um valor menor que  $T$ , significando que um número maior de clientes entrarão na entidade Loja por intervalo de tempo.

### 3.2.2.6 Injeção da Componente de Tendência

Considere  $T$  o intervalo médio de chegada de clientes na entidade Loja em segundos, o algoritmo de injeção da componente de tendência aplica a seguinte operação sobre esta variável:

$$T' = \left(\frac{T}{60}\right) * 0.03532 * \frac{RND1[50:200]}{100} \quad (3.3)$$

Onde RND é uma variável randômica cujo valor mínimo é 50 e o valor máximo é 100. A variável randômica atualiza seu valor cada  $RND2[7:21]$  dias

Seja agora  $O$  a saída do gerador de números aleatórios com distribuição exponencial de média  $T$ , a nova saída  $O'$  com a componente tendência incluída será:

$$O' = \frac{O}{T'} * \frac{\sum DIAS JÁ SIMULADOS}{NR TOTAL DIAS SIMULAÇÃO} \quad (3.4)$$

Ao longo do desenvolvimento do software de simulação percebeu-se que a medida que o intervalo entre chegadas de clientes às lojas aumentava era menor o impacto da componente de tendência na série temporal resultante. O fator  $T'$  é um fator de ajuste que mantém a influência da componente da tendência relativamente independente do valor médio da exponencial.

Utilizou-se a componente randômica para variar a inclinação da reta resultante do modelo de regressão linear. Os limites superior e inferior das variáveis randômicas e o coeficiente que multiplica o valor de  $T$  foram obtidos de forma empírica.

Tomou-se o cuidado apenas que a inclinação da reta não fosse demasiadamente forte de forma que os valores de demanda não divergissem acima de uma ordem de grandeza da demanda sem tendência logo nas primeiras semanas de simulação.

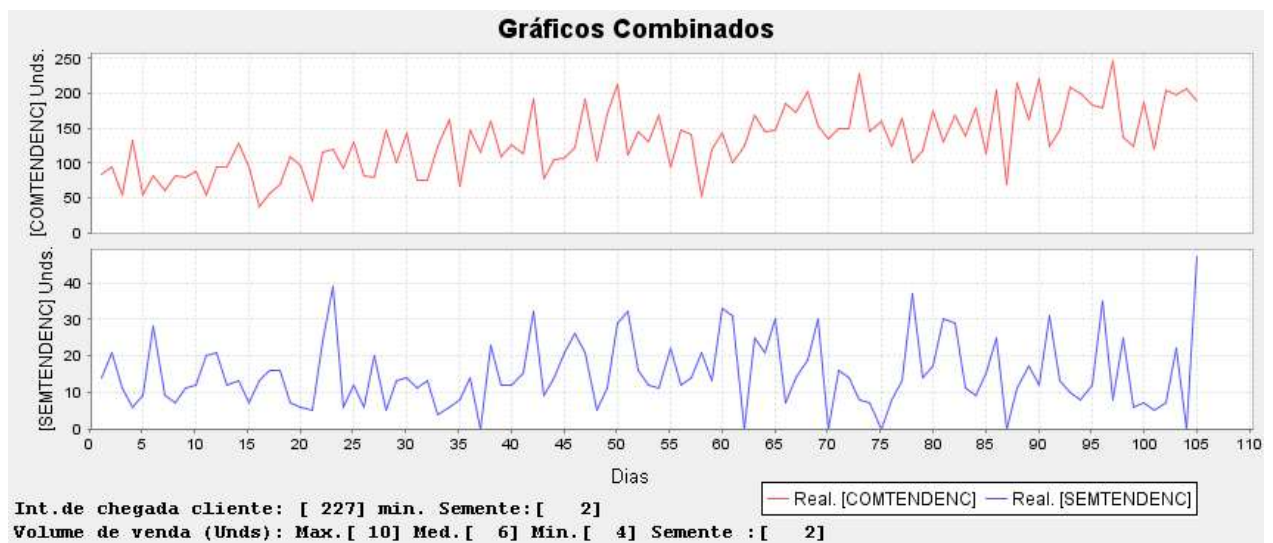


FIGURA 22 – CURVAS DE DEMANDA COM E SEM TENDÊNCIA  
 FONTE: O AUTOR

Na (FIGURA 22) acima pode-se visualizar um exemplo de séries temporais com e sem tendência para a mesma configuração de demanda obtidas através do simulador.

### 3.2.2.7 Os Custos de Estoque

Os custos de estoque calculados pelo algoritmo do software de simulação são os seguintes:

- a) Custo de Aquisição: Refere-se ao custo do pedido, é somando o valor do custo de aquisição a cada pedido realizado;
- b) Custo de Manutenção de Estoque: Custo associado a infraestrutura para manter os estoques, seu valor está é proporcional à quantidade de estoque físico no dia corrente da simulação, porem seu custo é a somatória dos dias de simulação;
- c) Custo Venda Perdida: Cada produto não vendido por ruptura de estoque é associado um custo, somatório de todos os produtos não vendidos;
- d) Custo Estoque de Segurança: Esse é o custo dos itens do estoque físico no dia corrente da simulação.

Assim o custo total ao final do período de simulação é dado pela seguinte equação:

$$C_{TOTAL} = \sum_i^A C_A + \sum_i^S T_{MAN} * C_U + \sum_t^P T_P * C_U + Estq(t_s) * C_U \quad (3.51)$$

Onde:

- |           |   |
|-----------|---|
| $A$       | = Número de pedidos ao longo da simulação |
| $C_A$     | = Custo de aquisição                      |
| $S$       | = Número total de dias de simulação       |
| $C_U$     | = Custo unitário                          |
| $T_{MAN}$ | = Taxa de manutenção diária               |
| $P$       | = Número de produtos não vendidos         |
| $T_P$     | = Taxa de venda perdida                   |

$$Estq(t_s) = \text{Estoque físico no último dia de simulação}$$

### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

#### 3.3.1 Configuração Parâmetros de Simulação

A (FIGURA 23) representa a interface gráfica para configurar o tamanho da cadeia de suprimentos, a quantidade de cada entidade Loja, Centro de Distribuição e Fábrica varia de um mínimo de um a um máximo de vinte entidades.

Segundo CHOPRA e MEINDL (2003) a emissão de pedidos agrupando vários produtos distribui o custo de aquisição e diminui o tamanho do lote econômico dado pela equação (2.1.3), entretanto o custo de aquisição é parâmetro configurável pelo usuário e portanto controlado, assim para manter a complexidade dentro do escopo deste trabalho de pesquisa, optou-se pela movimentação de apenas um tipo de produto.

O período de amostragem é configurável, dessa forma o usuário pode definir uma regra para o período do histórico que deverá ser considerado para os erros de previsão, descartando os valores anteriores ao período. O seu valor mínimo é de duas amostras.

Segundo Ballou (2006) a previsão baseada em regras pode reduzir os erros de previsão, e consequentemente o estoque de segurança.

O tempo de *warm-up*, dado em semanas define-se como tempo extra de simulação onde o sistema entra em regime e não é considerada a parte transiente pois os dados neste período não são contabilizados para medição (CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008). O período mínimo de tempo de *warm-up* é de zero semanas.

O período de simulação, dado em semanas trata-se do tempo efetivo de simulação no qual os dados são coletados para o cálculo das medidas de desempenho, seu valor mínimo é de uma semana.

Definiu-se três níveis de detalhamento de informações que o software de simulação pode gerar, pois para sessões nas quais o algoritmo de simulação tem que processar um tempo muito longo, como por exemplo cem semanas, o tamanho

do arquivo de log pode chegar a varias dezenas de megabytes. Dessa forma o usuário pode definir três níveis de informação para os logs gerados:

- a) L0: Nível de detalhamento máximo, além das informações do nível intermediário, são publicados os horários, quantidade e resultado de venda em cada loja da cadeia de suprimentos;
- b) L1: Nível de detalhamento intermediário, apenas atualizações de demanda diário, pedidos, pedidos a receber, *backlog* de pedidos são informados;
- c) L2: Nível mínimo, nenhuma informação é publicada, apenas o dia de simulação que foi processado.

A mudança destes parâmetros reinicializa o algoritmo de simulação. O botão “Salvar&Fechar” salva as modificações efetuadas e o botão “Fechar” descarta qualquer modificação efetuada nos campos de da janela.

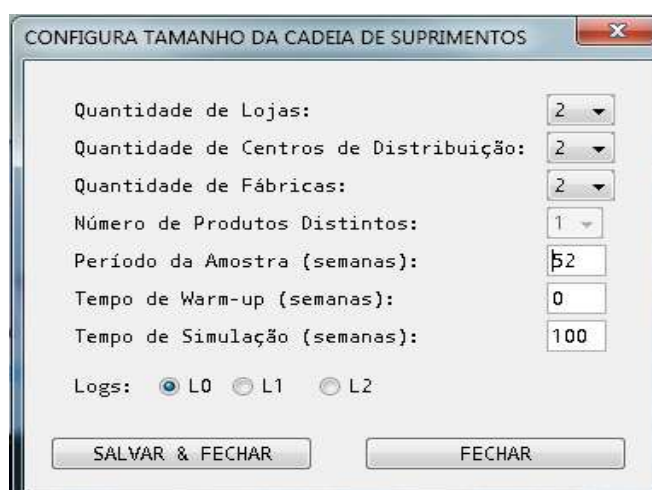


FIGURA 23 – INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO  
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO  
FONTE: O AUTOR

### 3.3.2 Configuração da Entidade Loja

A (FIGURA 24) a seguir representa a interface gráfica para a entidade Loja. Os campos configurados pelo usuário são distribuídos em dois grupos :

- *Configurações para o Estoque*, que engloba os seguintes campos:

- a) Nome: Campo alfanumérico com tamanho máximo de dez caracteres para identificação da entidade Loja;
- b) Estoque inicial: Trata-se do estoque no tempo zero de simulação, o estoque inicial pode assumir o valor zero, neste caso o simulador irá adotar como estoque inicial o valor arbitrário de 70% do tamanho ótimo do lote inicial, calculado pela primeira vez;
- c) Gestão de Estoque: Campo no qual seleciona-se a filosofia de controle de estoque adotado pela entidade loja, o escopo da seleção inclui “R.C.1” – revisão contínua com estoque de segurança definido pela equação (2.1.5), “R.C.2” – revisão contínua com estoque de segurança definido pela equação (2.1.7) e “R.P”. – revisão periódica;
- d) Método de previsão: Campo no qual seleciona-se o tipo de método de previsão, o escopo da seleção inclui os métodos de médias móveis definido pela equação (2.1.13), o método de amortecimento exponencial simples dado pela equação (2.1.16) e o método de amortecimento exponencial duplo dado pelas equações (2.1.17, 2.1.18 e 2.1.19). A configuração de cada método é realizado por meio do botão “CONFIGURA” que abre a respectiva tela para edição dos parâmetros, que pode ser visualizada na (FIGURA 25) abaixo;
- e) Critério de Seleção do Fornecedor: Campo tipo no qual seleciona-se o critério de seleção do fornecedor que pode ser fixo, definido pelo campo “Fornecedor Padrão” ou pode ser em função do menor valor calculado do ROP dado pela equação (2.1.4) para os fornecedores;
- f) Nó primário: Campo no qual seleciona-se o fornecedor padrão, desta forma a entidade loja sempre emitirá seus pedidos para o fornecedor definido por este campo caso o critério de seleção do fornecedor seja fixo;
- g) Custo de Venda Perdida: Campo que define o valor em relação ao custo unitário que será penalizado o custo do estoque a cada item que o cliente não possa comprar por ausência de estoque. O valor mínimo é 0,01 (1%) e o valor máximo é 0,99 (99%);
- h) Nível de Serviço: Nível de disponibilidade de estoque desejada para atender o cliente, trata-se do valor “z” encontrado nas equações (2.1.6,



2.1.7 e 2.1.9). O valor mínimo do nível de serviço é de 90% ( $z=1,29$ ) e o valor máximo é de 99,9% ( $z=3,01$ );

- i) Taxa Anual de Manutenção de Estoque: Campo que define o valor em relação ao custo unitário que será penalizado o custo a cada dia de permanência em estoque do produto. O valor mínimo é 0,01 (1%) e o valor máximo é 0,99 (99%);
- j) Mudar Configuração de Preço dos Produtos: Pode-se configurar o preço unitário, e o preço de aquisição do produto. Entretanto o usuário pode customizar estes valores para cada entidade loja. Caso selecione este campo o simulador permitira a edição do custo unitário e do custo de aquisição habilitando o botão “CUSTO PRODUTO”.

- *Configurações para a Demanda*, que engloba os seguintes campos:

- a) Tempo de chegada do cliente: Trata-se do valor médio da distribuição exponencial dado pela equação (2.4.15) que representa o intervalo de chegada do cliente à loja. Como valor mínimo adotou-se o valor de 15 minutos e o valor máximo é a jornada de trabalho que equivale a 1500 minutos, uma variação razoável da ordem de dez vezes. O incremento do tempo médio é de 1 minuto;
- b) Semente: valor que determina a sequência de valores randômicos para a simulação, dessa forma para o mesmo valor médio da distribuição exponencial e mesma semente, garante-se idêntica sequência de números randômicos. Número inteiro cujo valor mínimo é 1;
- c) Volume de Venda Máximo: Trata-se do valor de “c” dada pela equação (2.4.13) da distribuição triangular. O valor máximo deste campo é de 1000 unidades e o valor mínimo de 3 unidades;
- d) Volume de Venda Típico: Trata-se do valor de “b” dada pela equação (2.4.13) da distribuição triangular. O valor máximo deste campo é de 990 unidades e o valor mínimo de 2 unidades;
- e) Volume de Venda Mínimo: Trata-se do valor de “a” dada pela equação (2.4.13) da distribuição triangular. O valor máximo deste campo é de 980 unidades e o valor mínimo de 1 unidade;
- f) Semente: Valor que determina a sequência de valores randômicos para a simulação, dessa forma para a mesma distribuição triangular e

mesma semente, garante-se idêntica sequência de números randômicos. Número inteiro cujo valor mínimo é 1;

- g) Botão “Degrau”: Permite a configuração de uma variação brusca na demanda através da aplicação de um degrau na demanda, cuja intensidade pode variar entre -300% a +300% do valor médio configurado para o intervalo de chegadas dos clientes. O início do degrau e a sua duração em dias igualmente é configurável. A interface gráfica pode ser visualizada na (FIGURA 26) a seguir;
- h) Tendência: O usuário pode definir se a demanda terá apenas nível ou tendência (veja FIGURA 24) abaixo.

O botão “Salvar&Fechar” salva as modificações efetuadas e o botão “Fechar” descarta qualquer modificação efetuada nos campos de da janela.

FIGURA 24 – INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO ENTIDADE LOJA  
FONTE: O AUTOR

FIGURA 25 – INTERFACE PARA CONFIGURAÇÃO  
PARÂMETROS DE PREVISÃO  
FONTE: O AUTOR

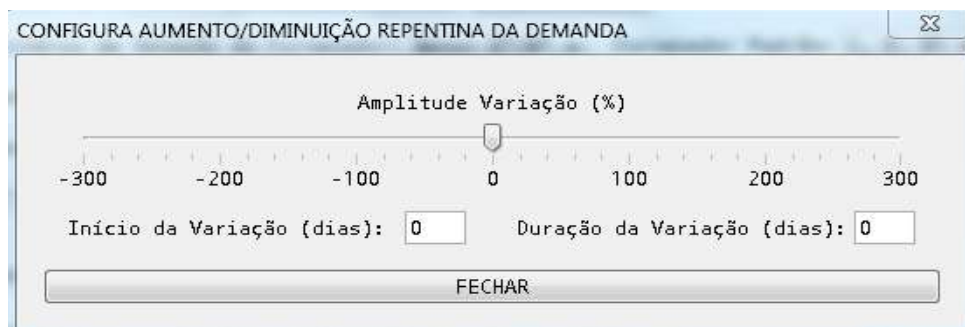


FIGURA 26 – INTERFACE PARA CONFIG. DE DEGRAU DE DEMANDA  
FONTE: O AUTOR

### 3.3.3 Configuração da Entidade Centro de Distribuição

A (FIGURA 27) a seguir representa a interface gráfica para a entidade Centro de Distribuição. Os campos configurados pelo usuário são distribuídos em dois grupos a seguir descritos :

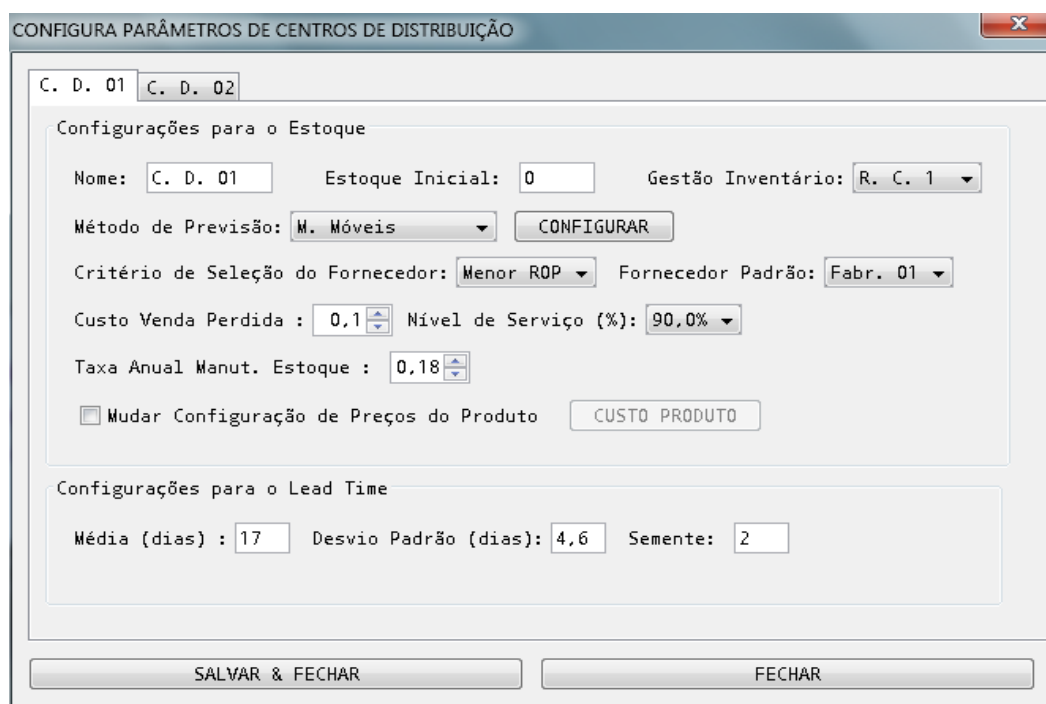


FIGURA 27 – INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO ENTIDADE CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO  
FONTE: O AUTOR

- *Configurações para o Estoque*, que engloba os seguintes campos:
  - a) Nome: Campo alfanumérico com tamanho máximo de dez caracteres para identificação da entidade Centro de Distribuição;

- b) Estoque inicial: definição idêntica à entidade loja;
- c) Gestão de inventário: definição idêntica à entidade loja;
- d) Método de previsão: definição idêntica à entidade loja;
- e) Critério de Seleção do Fornecedor: definição idêntica à entidade loja, entretanto o fornecedor para a entidade Centro de Distribuição é a entidade Fábrica;
- f) Nó primário: definição idêntica à entidade loja;
- g) Custo de Venda Perdida: definição idêntica à entidade loja;
- h) Nível de Serviço: definição idêntica à entidade loja;
- i) Taxa Anual de Manutenção de Estoque: definição idêntica à entidade loja.
- j) Mudar Configuração de Preço dos Produtos: definição idêntica à entidade loja, entretanto a janela de configuração de preços disponível para edição será para os preços do produto no centro de distribuição.

- *Configurações para o Lead Time*, que engloba os seguintes campos:

- a) Média: Trata-se do valor médio da distribuição normal dado pela equação (2.4.8) que representa o número médio de dias para a chegada do produto para a entidade Loja após a emissão do pedido à entidade Centro de Distribuição. Número real cujo valor é dado em dias e seu mínimo é 1;
- b) Desvio Padrão: Trata-se do desvio padrão da distribuição normal dado pela equação (2.4.9) e representa a magnitude da variação do valor médio do *lead time*. Número real cujo valor é dado em dias e seu mínimo é zero;
- c) Semente: valor que determina a sequência de valores randômicos para a simulação, dessa forma para o mesmo valor médio e de desvio padrão da distribuição normal e mesma semente, garante-se idêntica sequência de números randômicos. Número inteiro cujo valor mínimo é 1.

O botão “Salvar & Fechar” salva as modificações efetuadas e o botão “Fechar” descarta qualquer modificação efetuada nos campos de da janela.

### 3.3.4 Configuração da Entidade Fábrica

A (FIGURA 28) a seguir representa a interface gráfica para a entidade Fábrica e seus campos são descritos a seguir:

- Nome: Campo alfanumérico com tamanho máximo de dez caracteres para identificação da entidade Fábrica;
- Média: Trata-se do valor médio da distribuição normal dado pela equação (2.4.8) que representa o número médio de dias para a chegada do produto para a entidade Centro de Distribuição após a emissão do pedido á entidade Fábrica. Número real cujo valor é dado em dias e seu mínimo é 1;
- Desvio Padrão: Trata-se do desvio padrão da distribuição normal dado pela equação (2.4.9) e representa a magnitude da variação do valor médio do *lead time*. Número real cujo valor é dado em dias e seu mínimo é zero.

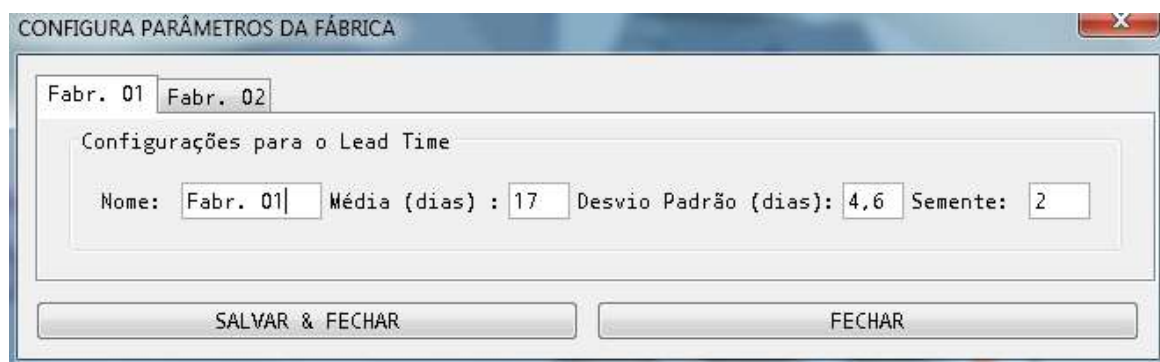


FIGURA 28 – INTERFACE GRÁFICA CONFIGURAÇÃO ENTIDADE FÁBRICA  
FONTE: O AUTOR

### 3.3.5 Configuração dos Custos Unitário e de Aquisição

A (FIGURA 29) abaixo representa a interface gráfica para configurar os preços unitário e de aquisição para calcular o lote econômico do produto (LEC) das entidades Loja e Centro de Distribuição, e se compõe dos seguintes campos :

- a) Custo Unitário: Trata-se do custo do produto no estoque em reais. Na equação (2.1.2) é o valor da variável C. O custo unitário tem valores diferentes para a entidade Loja e para a entidade Centro de Distribuição;
- b) Custo de Aquisição: Trata-se do custo para processar e receber o pedido emitido pela entidade Loja para o Centro de Distribuição ou da entidade Centro Distribuição para a Fábrica.

O botão “Salvar & Fechar” salva as modificações efetuadas e o botão “Fechar” descarta qualquer modificação efetuada nos campos de da janela.

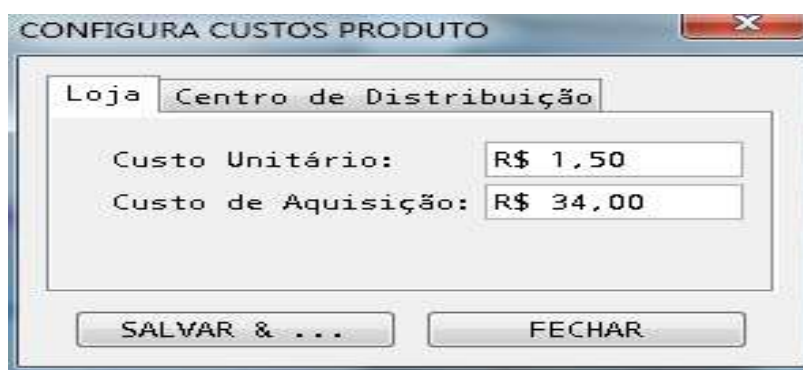


FIGURA 29 – INTERFACE GRÁFICA CUSTOS DO PRODUTO  
FONTE: O AUTOR

### 3.3.6 Gráficos de Simulação

A janela de acesso possibilita a visualização das informações definidas no (QUADRO 11) de até três entidades no mesmo quadro, dessa forma oferece-se ao usuário do software de simulação grande flexibilidade para comparar simultaneamente diferentes informações de entidades distintas. Pode-se visualizar a janela de configuração dos gráficos na (FIGURA 30) abaixo.

Os seguintes gráficos podem ser visualizados:

- a) Estoque Físico Semanal ou Diário;
- b) Estoque em Trânsito Semanal ou Diário;
- c) Posição de Estoque Semanal ou Diário;
- d) Estoque de Segurança Teórico Semanal;
- e) Valor de  $Q^*$  Semanal;

- f) Valor de ROP\* Semanal;
- g) Valor de M\* Semanal;
- h) Valor de T\* Semanal;
- i) Erro de Previsão Semanal (RMSE);
- j) Demanda x Previsão Semanal;
- k) Demanda Diária;
- l) Custo de Venda Perdida Diário;
- m) Custo de Manutenção de Estoque Diário;
- n) Custo de Aquisição Diário;
- o) Custo do Estoque de Segurança Diário;
- p) Custo Total de Estoque Diário;
- q) Taxa de Atendimento.

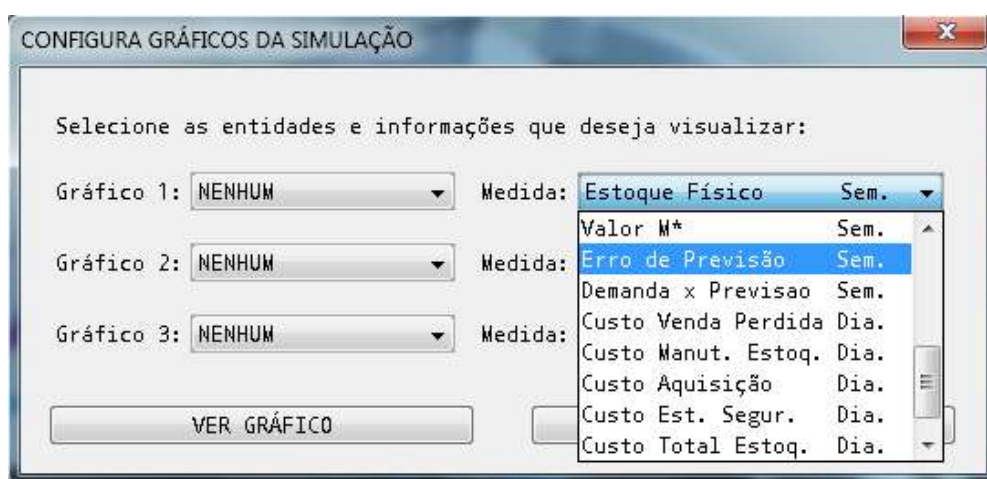


FIGURA 30 – JANELA DE GERAÇÃO DE GRÁFICOS  
FONTE: O AUTOR

### 3.3.7 Comparativo de Métodos de Previsão

Pode-se avaliar para cada nó ao final da simulação qual é a melhor estratégia para previsão da demanda através da janela de comparação de métodos de previsão, descrita na (FIGURA 31) a seguir.

O algoritmo do software de simulação calcula o erro RMSE dos métodos de previsão de demanda suportados pelo software de simulação variando-se os seus parâmetros. O método que apresentar o menor valor calculado do erro RMSE é

comparado com o valor calculado pelo método de previsão selecionado pelo usuário.

Adicionalmente é possível comparar por meio de gráficos o desempenho dos métodos de previsão em relação à série temporal do valor real da demanda como pode ser visto na (FIGURA 32) logo abaixo:

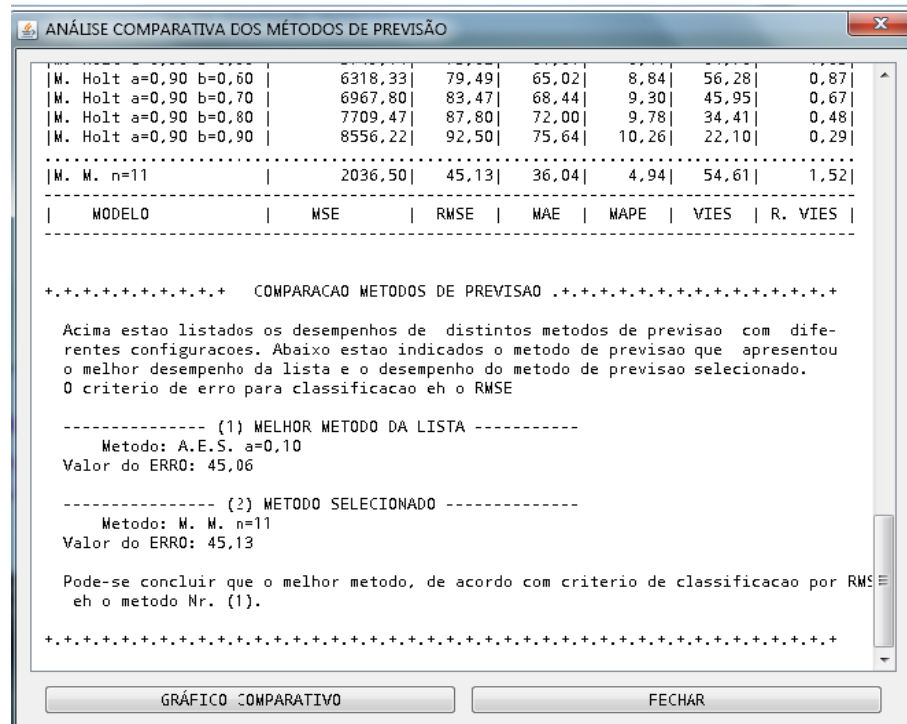


FIGURA 31 – COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO  
 FONTE: O AUTOR

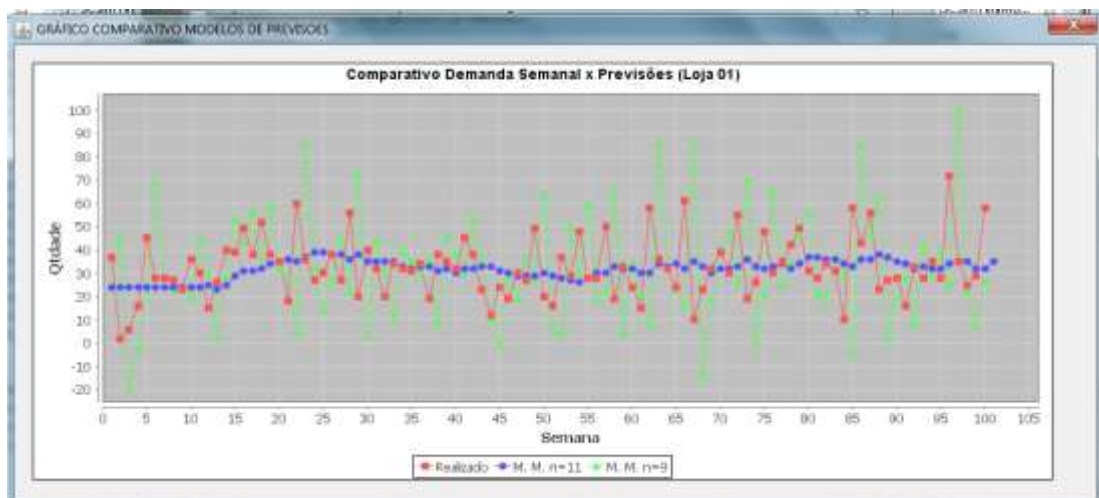


FIGURA 32 – GRÁFICO DE MÉTODOS DE PREVISÃO X DEMANDA  
 FONTE: O AUTOR

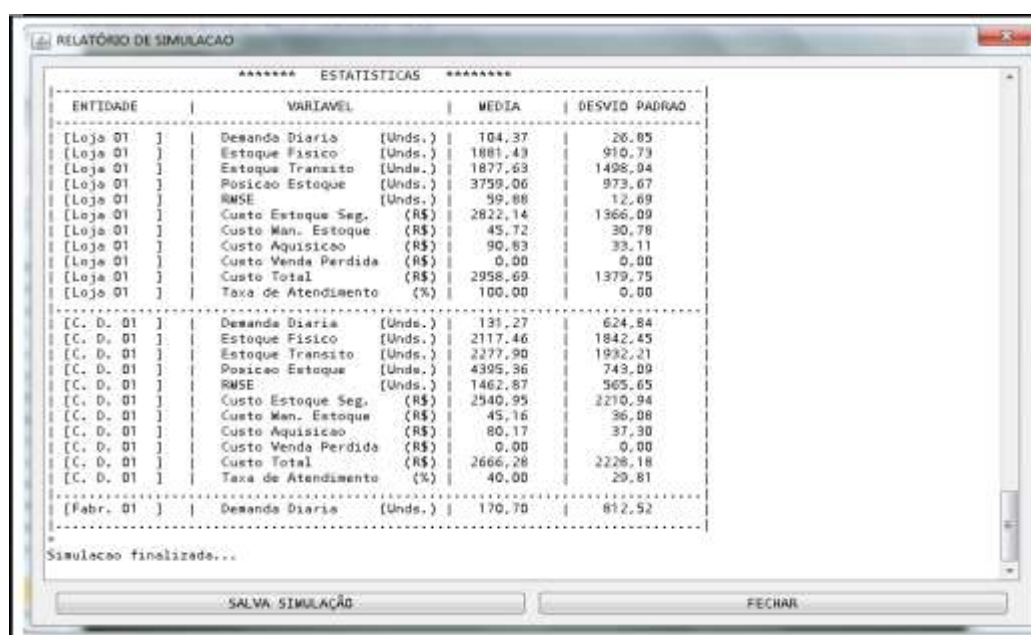


### 3.3.8 Estatísticas Apresentadas Após a Simulação

Ao final de uma sessão de simulação o algoritmo apresenta os valores médios e desvios padrões de algumas medidas de desempenho da cadeia de suprimentos, a janela gráfica pode ser observada na (FIGURA 33). As seguintes variáveis são calculados o valor médio e desvio padrão e disponibilizados na forma de relatório:

- a) Demanda Diária;
- b) Estoque Físico;
- c) Estoque em Transito;
- d) Valor do RMSE;
- e) Custo do Estoque de Segurança;
- f) Custo de Manutenção do Estoque;
- g) Custo de Aquisição;
- h) Custo Venda Perdida;
- i) Custo Total;
- j) Taxa de Atendimento.

É importante ressaltar que no caso da entidade Fábrica, somente para a variável “Demanda” apresenta-se valor médio e desvio padrão.



\*\*\*\*\* ESTATÍSTICAS \*\*\*\*\*

ENTIDADE	VARIÁVEL		MÉDIA	DESVIO PADRÃO
[Loja 01 ]	Demanda Diária	(Unds.)	104,37	26,05
[Loja 01 ]	Estoque Físico	(Unds.)	1881,43	910,79
[Loja 01 ]	Estoque Transito	(Unds.)	1877,63	1498,04
[Loja 01 ]	Posicao Estoque	(Unds.)	3759,06	973,67
[Loja 01 ]	RMSE	(Unds.)	59,88	12,69
[Loja 01 ]	Custo Estoque Seg.	(R\$)	2822,14	1366,09
[Loja 01 ]	Custo Man. Estoque	(R\$)	45,72	30,78
[Loja 01 ]	Custo Aquisicao	(R\$)	90,83	33,11
[Loja 01 ]	Custo Venda Perdida	(R\$)	0,00	0,00
[Loja 01 ]	Custo Total	(R\$)	2958,69	1379,75
[Loja 01 ]	Taxa de Atendimento	(%)	100,00	0,00
[C. D. 01 ]	Demanda Diária	(Unds.)	131,27	624,84
[C. D. 01 ]	Estoque Físico	(Unds.)	2117,46	1842,45
[C. D. 01 ]	Estoque Transito	(Unds.)	2277,90	1932,21
[C. D. 01 ]	Posicao Estoque	(Unds.)	4395,36	743,09
[C. D. 01 ]	RMSE	(Unds.)	1462,87	565,65
[C. D. 01 ]	Custo Estoque Seg.	(R\$)	2540,95	2210,94
[C. D. 01 ]	Custo Man. Estoque	(R\$)	45,16	36,08
[C. D. 01 ]	Custo Aquisicao	(R\$)	80,17	37,30
[C. D. 01 ]	Custo Venda Perdida	(R\$)	0,00	0,00
[C. D. 01 ]	Custo Total	(R\$)	2666,28	2226,18
[C. D. 01 ]	Taxa de Atendimento	(%)	40,00	29,81
[Fabr. 01 ]	Demanda Diária	(Unds.)	170,70	812,52

Simulacao finalizada...

SALVA SIMULAÇÃO      FECHAR

FIGURA 33 – VALOR MÉDIO E DESVIO PADRÃO DE DIVERSAS MEDIDAS DE DESEMPENHO PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS  
FONTE: O AUTOR

### 3.3.9 O Software de Simulação

A linguagem Java foi adotada para desenvolver o protótipo de *software* do modelo de simulação. Trata-se de uma linguagem cujo código gerado pode ser executado tanto em plataforma Windows como em plataformas baseadas em Linux, é orientada a programação por orientação à objetos, portanto sua arquitetura permite intenso reuso do código.

Adotou-se neste trabalho o Java versão 1.7 e como compilador e ambiente de desenvolvimento o *software* de distribuição gratuita Eclipse versão Kepler.

Para a técnica de simulação utilizou-se a estratégia de avanço de relógio de Cassandras e Lafortune (2008) descrita na (FIGURA 16). Apesar do *software* de simulação sempre atuar nos tempos determinados pelos eventos, sua arquitetura não foi elaborada para trabalhar com múltiplas tarefas através de chamadas por interrupção.

Adotou-se o uso de *loop*, conforme pode ser visto na (FIGURA 35), assim as rotinas são chamadas de acordo com a sequência ordenada de eventos. Entre as razões para escolher-se esta estratégia estão:

- a) A menor complexidade para a depuração de erros, pois estruturas de *software* por interrupção sofrem concorrência na manipulação de variáveis. Assim além do código extra para evitar-se a concorrência, seu funcionamento torna-se mais complexo e por consequência sendo menos trivial a identificação de erros de *software*;
- b) Percebeu-se durante o desenvolvimento do *software* de simulação que o desempenho de processamento utilizando-se rotinas em *loop* é rápido o suficiente. O ganho em rapidez ao usar-se o recurso de chamadas de função por interrupções não justificaria o aumento de complexidade do código.

No início do desenvolvimento verificou-se a possibilidade de adotar-se bibliotecas *open source* em linguagem Java direcionadas para simulação de eventos discretos. As seguintes bibliotecas foram estudadas :

- a) SSJ: *Stochastic Simulation* in Java, desenvolvido pelo *D'épartement d'Informatique et de Recherche Op'erationnelle* (DIRO) da Universidade de Montreal em 2009;

- b) JAPROSIM: *Java framework for Process Simulation Interaction Discrete Event Simulation* de Abdelhabib e Brahim (2008);
- c) JavaSim: *Java Simulation* desenvolvido pela universidade de New Castle (LITTLE, 1999).

Decidiu-se após estudos destas bibliotecas *open-source* adotar-se desenvolvimento próprio pelas seguintes razões:

- a) Todas as bibliotecas usam arquitetura por interrupção, estratégia que foi descartada no início do desenvolvimento do software;
- b) Com exceção da biblioteca SSJ, apresentam documentação deficiente, limitando-se a descrever o uso das rotinas, porém não encontrou-se aplicações, ou demos demonstrando seu uso, o que torna mais difícil a curva de aprendizado;
- c) Haveria necessidade de readequação do código, uma vez que nenhuma das bibliotecas atende plenamente às especificações do modelo de cadeia de suprimentos proposto neste trabalho.

#### 3.3.9.1 Formato dos Telegramas

Estruturas denominadas telegramas são utilizadas pelas rotinas do software de simulação e permitem o armazenamento de várias informações necessárias para os algoritmos que modelam as políticas de ressuprimento possam operar corretamente.

O tipo de estrutura utilizada varia de acordo com a necessidade, por exemplo estruturas cujos valores armazenados necessitam ser internamente ordenados por alguma chave, como por exemplo data, independente da sequência de inserção foram criadas para controlar a chegada de clientes e os pedidos a receber.

A demanda do cliente nas lojas e os pedidos gerados não necessitam de ordenação, as informações podem ser recuperadas utilizando-se uma chave de acesso como por exemplo a data ou número do pedido, criada no momento da inserção da informação. No Apêndice A são descritas as estruturas criadas na construção do algoritmo do *software* de simulação.

### 3.4 METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Pode-se visualizar no (QUADRO 10) abaixo todas as características objeto de validação do modelo de simulação proposto e que estão mapeados nos objetivos específicos definidos no capítulo 1.

Objetivo Específico		Item
Funções de Densidade de Probabilidade	Normal	3.5
	Exponencial	3.5
	Triangular	3.5
	Discreta Uniforme	3.5
Políticas de Gestão de Estoque	Revisão contínua com estoque de segurança em função do <i>lead time</i>	3.6; 3.6.1;3.6.2
	Revisão contínua com estoque de segurança em função do <i>lead time</i> e desvio padrão do <i>lead time</i>	3.6; 3.6.1;3.6.2
	Revisão periódica com estoque de segurança em função do <i>lead time</i> e desvio padrão do <i>lead time</i>	3.6.3
	Revisão periodica com estoque de segurança em função do <i>lead time</i> e desvio padrão do <i>lead time</i>	3.6.3
Métodos de Previsão	Médias Moveis	3.6
	Alisamento Exponencial Simples	3.6
	Alisamento Exponencial Duplo	3.6
Erros de Previsão	Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)	3.6
	Desvio Absoluto Médio (DAM)	3.6
	Erro Absoluto Médio Porcentual (EAMP)	3.6
	Viés de Previsão	3.6
	Razão de Viés (TS)	3.6
Identificação dos parâmetros de entrada para o modelo de simulação		3.6
Demonstrar o efeito chicote		3.6.7
Implementar a interface gráfica de entrada de dados para cada		3.6
Implementar interface gráfica de saída dos resultados ou conjunto		3.6
Estatísticas Pós-Simulação		3.6.8
Validar o comportamento integrado do modelo de simulação		3.7.1;3.7.2;3.7.3

QUADRO 10 – LISTA DE VALIDAÇÃO DOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS  
FONTE: O AUTOR

### 3.5 FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE

A validação das funções de densidade de probabilidade foi realizada, com exceção da distribuição discreta uniforme, gerando-se dez grupos com cinquenta amostras obtidos através de chamada direta das rotinas geradoras das funções de probabilidade inseridas no código fonte do simulador.

Os valores selecionados para os parâmetros de cada f.d.p foram aleatórios, a escolha das sementes utilizadas para a geração da sequência de valores de cada amostra também foram selecionados ao acaso.

O teste aplicado para verificar a aderência da amostra com a função de probabilidade desejada foi o de Kolmogorov-Smirnov (K-S). O teste de K-S permite comparar uma função de probabilidade contínua conhecida com a função de probabilidade que modela a distribuição da amostra (STEWART, 2009).

Todas as amostras utilizadas nesta validação encontram-se no arquivo VALIDACAO\_FDP.xlsx. Para todos os testes, com exceção da distribuição discreta uniforme, adotou-se o procedimento que está descrito no fluxograma da (FIGURA 34) a seguir.

Para a validação da f.d.p. normal utilizou-se do software estatístico Minitab versão 16.1.1. O valor da média e desvio padrão utilizados foram de catorze e um e meio respectivamente.

No caso da validação do código que gera sequências numéricas que podem ser modeladas pela f.d.p. exponencial o teste de K-S foi aplicado utilizando-se o software estatístico SPSS versão 20 em conjunto com o Minitab para aplicação dos testes t-Student.

O valor médio selecionado para o teste foi de novecentos, o que equivale a um tempo entre chegada de clientes de quinze minutos.

Apesar da interface gráfica apresentar o intervalo médio de chegadas em minutos, a unidade de tempo padrão utilizada pelo algoritmo que gera os horários entre chegadas de clientes é o segundo.

Para validação das sequências numéricas que seguem a f.d.p. triangular utilizou-se o software estatístico Statgraphics 16.1.11 pois suporta o teste de K-S para distribuições triangulares. Os valores selecionados para os testes são catorze para o valor máximo, onze para o valor típico e seis para o valor mínimo.

No caso da validação de sequências de números inteiros randômicos, espera-se que a função de distribuição de probabilidade seja discreta uniforme.

Utilizou-se o teste sugerido por Sedgewick (1990), aplicando-se o teste de aderência Chi-Quadrado e as seguintes premissas:

- O número de amostras  $N$  tem que ser maior que dez vezes o valor do máximo número inteiro  $r$ .
- O valor calculado do teste Chi-Quadrado  $\chi^2$  deve estar no intervalo  $|\chi^2 - r| \leq 2\sqrt{r}$

Gerou-se dez amostras com mil número inteiros com valor mínimo um máximo cinquenta, aplicou-se o teste de aderência Chi-Quadrado e verificou-se se o valor encontrado se encontrava no intervalo válido.

O cálculo do valor de Chi-Quadrado de acordo com a equação (2.4.20), foi efetuado através de rotina de software cujo código fonte se encontra no Apêndice B.

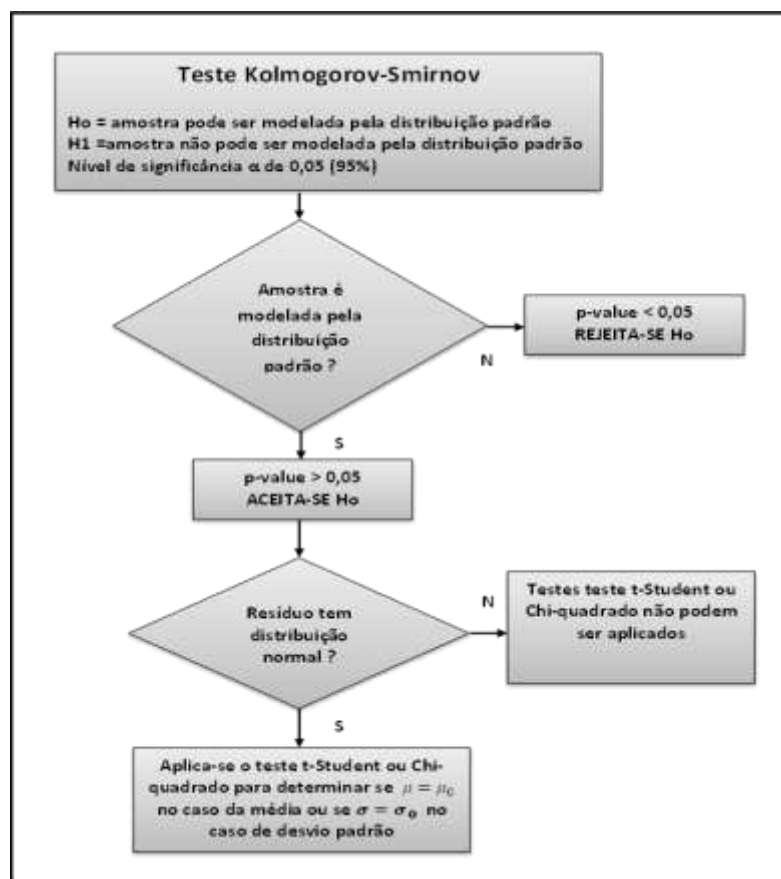


FIGURA 34 – PROCEDIMENTO PARA VALIDAÇÃO DAS F.D.P.  
FONTE: O AUTOR

### 3.6 POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUE, MÉTODOS E ERROS DE PREVISÃO

A validação dos parâmetros das políticas de estoque, métodos de previsão e erros de previsão foi efetuada por meio da comparação dos valores apresentados no relatório de *log* com os valores esperados pelas equações descritas na revisão de literatura utilizando-se uma configuração de cadeia de suprimentos que incluísse todas as variações das políticas de estoque especificadas de acordo com o item 2.1.5.

A cadeia de suprimentos modelada para a maior parte das validações possui sete entidades do tipo Loja denominadas “PILARZINHO”, “BIGORRILHO”, “SANTAFELIC”, “BACHERI”, “AGUVERDE”, “SANTAFELIC” e “SANTACAND”, duas entidades do tipo Centro de Distribuição denominadas “CURITIBA” e “FLORIANOPL” e duas entidades Fábrica denominadas “SAOPAULO” e “CAMPINAS”.

Dessa forma pode-se configurar todas as políticas de estoque implementadas na mesma rede de suprimentos.

Apesar de não abranger todas as combinações de políticas de suprimentos no caso das entidades Centros de Distribuição, o código do software de simulação não distingue o tipo de entidade a qual a regra é aplicada. Portanto, não há necessidade validar todos os tipos de gestão de estoque para esta entidade.

O tempo de simulação para o cenário da maioria dos testes é de dez semanas. Cenários que envolvem validar a integração das entidades tem duração mais longa de cem semanas.

Deve-se observar algumas particularidades na modelagem do cenário de teste:

- a) As lojas “PILARZINHO”, “BIGORRILHO”, “SANTAFELIC” e BACACHERI possuem os mesmos valores para a média da distribuição de probabilidade exponencial. A loja “BACACHERI” contudo possui uma semente de valor diferente, e a loja “PILARZINHO” possui uma componente de tendência. Definiu-se esta configuração para demonstrar os mudanças ocorridas nos valores quando a tendência está habilitada ou se alimenta o gerador com valores diferentes de semente;
- b) As lojas “PILARZINHO”, “BIGORRILHO” possuem os mesmos valores para os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  para a distribuição de probabilidade

triangular, entretanto a loja “BIGORRILHO” possui uma semente de valor diferente;

- c) As lojas “SANTAFELIC” e “BIGORRILHO” possuem demanda submetidas a variação brusca de volume. Para a loja “SANTAFELIC” configurou-se uma variação brusca positiva e para a loja “BIGORRILHO” uma variação brusca positiva;
- d) A loja “PILARZINHO” e a loja “BACACHERI” e o centro de distribuição “CURITIBA” possuem estoques iniciais diferente de zero;
- e) As lojas “PILARZINHO”, “SANTAFELIC” e “FAZENDINHA” e o centro de distribuição “CURITIBA” preveem a demanda através da técnica de previsão por média móvel;
- f) As lojas “SANTACAND” e “BACACHERI” e o centro de distribuição “FLORIANOPL” preveem a demanda através da técnica de previsão de amortecimento exponencial simples;
- g) As lojas “BIGORRILHO” e “AGUAVERDE” preveem a demanda através da técnica de previsão de amortecimento exponencial duplo;
- h) A loja “PILARZINHO” e o centro de distribuição “CURITIBA” tem custos de aquisição e custo unitário distintos das outras lojas.
- i) As políticas de gestão de estoque aplicadas para as lojas e centro de distribuições são as distintas de forma a validar o modelo implementado pelo simulador no mesmo cenário;
- j) As lojas “PILARZINHO”, “BIGORRILHO”, “AGUA VERDE”, “FAZENDINHA” e “SANTACAND” estão configuradas para emitirem pedidos sempre para o mesmo fornecedor, que são os centros de distribuição “CURITIBA”, “FLORIANOPL”, “CURITIBA”, “FLORIANOPL” e “CURITIBA” respectivamente;
- k) As lojas “SANTAFELIC” e “BACACHERI” estão configuradas para selecionar o fornecedor pelo menor valor do ponto de ressuprimento (ROP);
- l) O centro de distribuição “CURITIBA” está configurado para selecionar o seu fornecedor pelo menor ponto de ressuprimento (ROP), ao passo que o centro de distribuição “FLORIANOPL” tem a fábrica “CAMPINAS” como fornecedor fixo.



Na página 1 e 2 do arquivo “CENARIO01L0.pdf” pode-se observar a configuração detalhada dos parâmetros de todas as entidades. Inicialmente os logs estão configurados para o detalhamento máximo e o cálculo do erro RMSE tem uma memória de seis amostras e não existe tempo de *warm-up*.

### 3.6.1 Escolha do Fornecedor Pelo Critério de Menor ROP

Conforme detalhando no item 3.2.2.2, pode-se definir o critério de seleção do fornecedor pelo menor limiar de ROP para as políticas de revisão de controle de estoque por revisão contínua. As lojas “BACACHERI” e “SANTAFELIC” apresentam controle de estoque por revisão contínua (RC1 e RC2) e seleção de fornecedor por menor nível de ROP, como pode ser visto no trecho de *log* apresentado na (FIGURA 35).

Os seguintes cenários foram desenvolvidos para validar o funcionamento do algoritmo:

- a) Cenário A: Fornecedor que apresenta menor nível de ROP com estoque físico que atende o lote de ressuprimento. Loja “BACACHERI” com estoque físico de 450 unidades. Centros de distribuição “CURITIBA” e “FLORIANOPL” com 22500 e 1000 unidades respectivamente;
- b) Cenário B: Fornecedor que apresenta menor nível de ROP com estoque físico que não atende o lote de ressuprimento. Loja “SANTAFELIC” com estoque físico de 1050 unidades. Centros de distribuição “CURITIBA” e “FLORIANOPL” com 22500 e 1000 unidades respectivamente;
- c) Cenário C: Nenhum fornecedor tem estoque físico que atende o lote de ressuprimento. Lojas “BACACHERI” com estoque físico de 450 unidades. Centros de distribuição “CURITIBA” e “FLORIANOPL” com 1000 unidades.

Para o cenário A o algoritmo do software de simulação aguardará o estoque físico atingir o ponto de ressuprimento associado ao fornecedor com menor nível de

ROP, no cenário em questão a loja “BACACHERI” deverá ser atendida pelo centro de distribuição “CURITIBA”.

No caso do cenário B, o ponto de ressuprimento será atingido para o fornecedor que possui estoque, mesmo não oferecendo o menor nível de ROP, no cenário em questão a loja “SANTAFELIC” deverá ser atendida pelo centro de distribuição “CURITIBA”, apesar do menor nível de ROP para esta loja ser o centro de distribuição “FLORIANOPOL”.

O primeiro nível de ROP atingindo, portanto o maior nível de ROP do grupos de fornecedores, acionará a emissão do pedido de ressuprimentos para o cenário C.

Para as lojas remanescentes definiu-se um alto valor de estoque inicial de maneira a não emitirem pedidos durante os primeiros dias de simulação.

**** CENTROS DE DISTRIBUICAO ****									
Nome: [CURITIBA ]									
Estoque inicial: [ ? ] Unds.									
Nome: [FLORIANOPL]									
Estoque inicial: [ ? ] Unds.									
**** LOJAS ****									
LOJA : [SANTAFELIC]									
Historico demanda 4 semanas (Unds.) : S1[ 523] S2[ 413] S3[ 423] S4[ 468]									
Demanda media inicial : [ 457] Unds/sem d.p. [ 50,23] Unds.									
Valor inicial Q* : [ 3669] Unds.									
Valor inicial ROP (RC1) : [ 868] Unds. LT: [ 12,00] dias [FLORIANOPL] ← MELHOR ROP									
Valor inicial ROP (RC1) : [ 1006] Unds. LT: [ 14,00] dias [CURITIBA]									
Estq. inicial configurado : [ 1300] Unds.									
.....									
LOJA : [BACACHERI ]									
Historico demanda 4 semanas (Unds.) : S1[ 225] S2[ 169] S3[ 132] S4[ 188]									
Demanda media inicial : [ 179] Unds/sem d.p. [ 38,75] Unds.									
Valor inicial Q* : [ 1529] Unds.									
Valor inicial ROP (RC2) : [ 435] Unds. LT: [ 14,00] dias d.p. LT: [ 1,00] dias [CURITIBA]									
Valor inicial ROP (RC2) : [ 439] Unds. LT: [ 12,00] dias d.p. LT: [ 3,50] dias [FLORIANOPL]									
Estq. inicial configurado : [ 1300] Unds.									

FIGURA 35– CENÁRIO DE TESTE PARA VALIDAÇÃO DA SELEÇÃO DO FORNECEDOR PELO MENOR ROP

FONTE: O AUTOR

### 3.6.2 Escolha do Fornecedor Pelo Critério Fixo

O fornecedor pode ser fixo, independente do nível de ROP. O cenário definido no item anterior foi modificado de forma que o critério de seleção de fornecedor para a loja “BACACHERI” passa a ser fixo e que o fornecedor selecionado se passe a ser o centro de distribuição “FLORIANOPL”. Selecionou-se o

fornecedor com o maior nível de ressuprimento, no caso o centro de distribuição “FLORIANOPOL”.

Dessa forma, mesmo o centro de distribuição com o menor nível de ressuprimento com estoque físico disponível para atender o pedido, a loja “BACACHERI” deverá selecionar o centro de distribuição “FLORIANOPL”. O nível do estoque físico para a loja “BACACHERI” é de 450 unidades e para os centros de distribuição são de 10.000 e 1000 unidades para o centro de distribuição “CURITIBA” e “FLORIANOPL” respectivamente.

Para as lojas remanescentes definiu-se um alto valor de estoque inicial de maneira a não emitirem pedidos durante os primeiros dias de simulação.

### 3.6.3 Controle de Estoque por Revisão Periódica

O centro de distribuição “FLORIANOPOLIS” possui controle de estoque por revisão periódica. Irá se observar apenas se os intervalos de pedido de ressuprimento estão de acordo com o definido na literatura e portanto corretamente implementados no algoritmo do software de simulação. Os estoques físicos das lojas são mantidos altos para não haverem emissões de pedidos durante o cenário de teste.

### 3.6.4 Demanda das Entidades Loja com Tendência

Utilizou-se um cenário específico para testar o algoritmo do software de simulação que gera a componente de tendência. O cenário se compõe de duas lojas com exatamente o mesmo perfil de demanda, entretanto uma das lojas está habilitada a componente de tendência. Os detalhes das configurações podem ser vistos na página 1 do arquivo de *log* CENARIO02L1.pdf.

### 3.6.5 Iteração Entre as Entidades

O algoritmo de emissão de pedidos é o responsável pela iteração entre as entidades por meio do fluxo de mercadorias. São os seguintes cenários que podem existir no momento da emissão do pedido:

- a) Cenário A: Pedido plenamente atendido pelo estoque físico do fornecedor;
- b) Cenário B: Pedido parcialmente atendido pelo estoque físico e saldo atendido plenamente pelo estoque em trânsito;
- c) Cenário C: Ruptura do estoque físico do fornecedor;
- d) Cenário D: Múltiplos Pedidos em Trânsito;
- e) Cenário E: Pedido em Aberto.

Para o cenário A e cenário B, configurou-se as lojas “BACACHERI” e “PILARZINHO” para seu estoque físico inicial possuir 500 e 1300 unidades respectivamente. Definiu-se para o centro distribuição “CURITIBA” o valor do estoque físico em 2800 unidades.

Dessa forma espera-se que a loja “PILZARZINHO” seja atendida plenamente pelo estoque físico e a loja “BACACHERI” apenas parcialmente. Ambas as lojas tem fornecedor fixo o centro de distribuição “CURITIBA”. O *log* deste cenário encontra-se no arquivo CENARIO7ABL0.pdf.

Para o cenário C, modificou-se a posição de estoque do centro de distribuição “CURITIBA” para exatamente o valor do lote econômico do pedido ( $Q^*$ ) da loja “PILARZINHO” que é 2468 unidades. O *log* deste cenário encontra-se no arquivo CENARIO7CL0.pdf.

Para o cenário D, modificou-se o estoque de todas as lojas para uma pequena quantidade, e suas políticas de estoque para revisão contínua, de forma que logo gerassem pedidos.

Adicionalmente modificou-se a configuração para que o fornecedor fosse o centro de distribuição “FLORIANOPL”, e mudou-se seu estoque físico para uma pequena quantidade de forma a entrar rapidamente em ruptura. O *log* deste cenário encontra-se no arquivo CENARIO7DL0.pdf

Em relação a validação do cenário E, modificou-se o valor do estoque físico de todas as lojas, com exceção da loja “AGUA VERDE”, para uma grande

quantidade de forma a não gerar pedidos nos primeiros dias de simulação, e alterou-se a política de estoque do centro de distribuição “FLORIANOPOL” para revisão periódica. O *log* deste cenário encontra-se no arquivo CENARIO7EL0.pdf.

### 3.6.6 Custos de Estoque

Deverá ser observado o seguinte comportamento para os custos de estoque:

- a) Custo de Aquisição: Deverá incrementar o valor do custo de aquisição a cada pedido despachado;
- b) Custo de Manutenção de estoque: Deverá incrementar para cada produto no estoque físico ao final do dia o valor da taxa de manutenção diária multiplicado pelo custo unitário, esse valor será somado aos custos de manutenção dos dias anteriores;
- c) Custo de Venda Perdida: Seu incremento, o custo de aquisição multiplicado pela taxa de venda perdida, se dará cada vez que um produto não é vendido por ruptura de estoque;
- d) Custo do Estoque de Segurança: Seu custo é dependente do nível de estoque no dia corrente de simulação e não é incrementado. Seu valor é o custo unitário multiplicado pelo número de itens no estoque físico.

O cenário utilizado será observar o comportamento da loja “BACACHERI” configurando-se um nível de estoque físico suficientemente baixo para que a loja seja submetida a ruptura de estoque.

Os centros de distribuição “CURITIBA” e “FLORIANOPL” também serão configurados para um nível baixo de estoque de forma a não repor imediatamente o estoque físico da loja “BACACHERI”

Os outros custos de estoques poderão ser observados ao longo dos dias de simulação. O *log* deste cenário encontra-se no arquivo CENARIO9EL0.pdf.

## 3.7 O EFEITO CHICOTE

O efeito chicote pode ser visto comparando-se as demandas da loja, do centro de distribuição e da fábrica. Utilizou-se a loja “SANTACAND”, centro de distribuição “CURITIBA” e fábrica “SÃO PAULO” e comparou-se as curvas de demanda em gráfico em um intervalo de 100 meses.

A presença do efeito chicote é detectada pelo aumento do valor da média e da variância da demanda a medida que esta se desloca para o sentido *upstream* da cadeia. O *log* deste cenário encontra-se no arquivo CENARIO08EL1.pdf.

### 3.8 ESTATÍSTICAS PÓS-SIMULAÇÃO

O cenário para validar os valores de média e desvio padrão das variáveis apresentadas no item 3.3.8 é uma CS simples de três entidades composta por uma Loja, um Centro de Distribuição e uma Fábrica. O período total deste cenário de simulação é de oito semanas, sendo cinco semanas constituídas pelo período de *warm-up* e três semanas de simulação efetiva. O algoritmo de simulação deverá calcular corretamente os valores de média e desvio padrão para as variáveis definidas no item 3.3.8, desconsiderando a série de valores correspondente ao período de *warm-up*. O *log* deste cenário de simulação encontra-se no arquivo CENARIO\_EST\_01.txt.

### 3.9 O COMPORTAMENTO INTEGRADO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

O algoritmo do software de simulação deverá responder adequadamente a situações típicas como:

- a) Variações bruscas de demanda causam aumento do erro de previsão e portanto do valor do RMSE;
- b) Degraus inesperados no perfil da demanda podem causar ruptura do estoque uma vez que o estoque de segurança foi estimado para uma variância menor;
- c) Para um mesmo perfil de demanda, valores de *lead time* ou desvio padrão menores diminuem a incerteza da entrega e portanto aumentam a taxa de atendimento.

### 3.9.1 Cenário A – Aumento Repentino da Demanda

Serão observados os efeitos causados no nível de estoque e na taxa de atendimento ao cliente da loja “SANTAFELIC” quando submetida a variação repentina da demanda e a reação dos mecanismos de controle de estoque.

Os *logs* deste cenário encontram-se nos arquivos CENAGR01AL1.pdf, CENAGR01BL1.pdf, CENAGR01CL1.pdf e CENAGR01DL1.pdf.

### 3.9.2 Cenário B – Variação do Lead Time

Serão observados os impactos causados pela variação do *lead time* do centro de distribuição “CURITIBA” na taxa de atendimento ao cliente da loja “SANTAFELIC”.

Os *logs* deste cenário encontram-se nos arquivos CENBGR01AL1.pdf, CENBGR01BL1.pdf, CENBGR01CL1.pdf e CENBGR01DL1.pdf.

### 3.9.3 Cenário C – Análise Estatística Pós-Simulação

O cenário implementado compõe-se de nove entidades, sendo cinco Lojas, dois Centros de Distribuição e duas Fábricas. As Lojas são denominadas “LOJA A”, “LOJA B”...”LOJA E”, os Centros de Distribuição são denominados “C.D. A” e “C.D. B” e as Fábricas denominadas “FÁBRICA A” e “FÁBRICA B”.

Serão observados os efeitos nos valores médios e desvios padrões das variáveis custos de estoque e taxa de atendimento da “LOJA A”. A demanda da “LOJA A” é representada pela chegada de clientes a cada dezessete minutos, com um perfil de compra máximo de oito, mínimo de dois e médio de cinco produtos a cada visita do cliente à loja. O método de previsão de demanda aplicado é Amortecimento Exponencial Simples com parâmetro  $\alpha = 0,7$ . O critério de seleção do fornecedor para a “LOJA A” é fixo e o fornecedor é o Centro de Distribuição “C. D. B”. A configuração detalhada de cada entidade em seu cenário original se encontra

nas linhas iniciais dos *logs* armazenados nos arquivos ESTAT\_CEN\_ORIG\_SEED\_xx.txt

Serão aplicadas as seguintes mudanças no modelo de simulação proposto:

- a) O método de previsão será modificado para o que apresentar o melhor desempenho em face do perfil de demanda aplicada para a “LOJA A”;
- b) O método de gestão de estoque da “LOJA A” inicial é de revisão contínua com estoque de segurança fixo. Será modificado o método de previsão para considerar o desvio padrão do *lead time* do seu fornecedor;
- c) Altera-se a estratégia de seleção do fornecedor para buscar sempre o que possuir o menor valor de ROP no momento do pedido;
- d) Retorna-se o critério de seleção do fornecedor como fixo, o fornecedor continua sendo “C. D. B”, entretanto com um *lead time* reduzido pela metade. Em contrapartida à melhoria do *lead time*, o custo de aquisição para a “LOJA A” passa a ser três vezes maior.

Para cada cenário, o simulador é executado três vezes e as sementes utilizadas em cada rodada para gerar as distribuições de probabilidades são dois, doze e vinte e dois, atualizadas para todas as entidades.

A configuração detalhada de cada entidade em cada cenário se encontra nas linhas iniciais dos *logs* armazenados nos arquivos ESTAT\_CEN\_x\_SEED\_xx.txt



## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresentam-se aqui os resultados dos cenários descritos na metodologia para verificar se os algoritmos implementados estão de acordo com a especificação definida para o modelo de simulação.

No Apêndice C estão os resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S), t-Student e Chi-quadrado para validação dos modelos de distribuição de probabilidade selecionados.

No Apêndice D verifica-se o resultado das equações definidas na revisão de literatura e implementadas no modelo de simulação. As decisões tomadas pelo algoritmo de simulação devem estar consonantes com a lógica especificada para as funcionalidades descritas no item 3.6.

No Apêndice E encontra-se uma descrição das convenções utilizadas para os *logs* gerados pelo simulador.

No Apêndice F apresenta-se uma tabela referenciando cada arquivo de *log* contido no *CD-ROM* em anexo ao texto deste trabalho.

### 4.1 COMPORTAMENTO INTEGRADO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Apresentam-se os resultados de algumas simulações caracterizando os cenários descritos no item 3.7.

### 4.2 CENÁRIO A – AUMENTO REPENTINO DA DEMANDA

A loja “SANTAFELIC” foi submetida a uma diminuição repentina da demanda em cerca de duzentos por cento por um período de vinte e cinco dias a partir do dia duzentos.

O método de previsão selecionado para a loja foi amortecimento exponencial simples com  $\alpha$  igual a 0,3, e foi selecionado pelo algoritmo de simulação pois apresentou o menor RMSE para o perfil de demanda configurado.

A política de estoque aplicada para a loja “SANTAFELIC” é revisão contínua com estoque de segurança fixo. O critério de seleção do centro de distribuição é pelo menor valor de ROP.

O gráfico da (FIGURA 36) apresenta a resposta apresentada pelo controle de estoque por revisão contínua. Pode-se perceber que a variação causa aumento correspondente do erro RMSE que por sua vez irá aumentar os valores do estoque de segurança. Entretanto estas ações tem um atraso referentes ao *lead time* do pedido e a atualização dos parâmetros da política de estoque, pois a previsão é atualizada a cada semana, o que resulta portanto em ruptura do estoque físico.



FIGURA 36 – DEMANDA COM VAR. BRUSCA, PREVISÃO, RMSE E EST. FÍSICO, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA FIXO

FONTE: O AUTOR

No gráfico da (FIGURA 37) pode-se visualizar para efeito de comparação as mesmas variáveis observadas na (FIGURA 36) sem a variação brusca de demanda.

Outro aspecto a se destacar é memória do erro RMSE, quanto maior o número de períodos do histórico incluídos no cálculo do erro RMSE, maior o tempo para se ajustar ao regime de demanda original uma vez cessada a variação. Mesmo que a variação brusca da demanda tenha curta duração, o estoque de segurança se mantém alto várias semanas depois de cessado o transiente na curva de demanda.

No cenário de teste, o período de memória do valor do RMSE é de vinte e seis semanas.

Os *logs* desse cenário estão nos arquivos CENAGR01AL1.pdf e CENAGRA01B.pdf para simulação com degrau e sem degrau respectivamente.

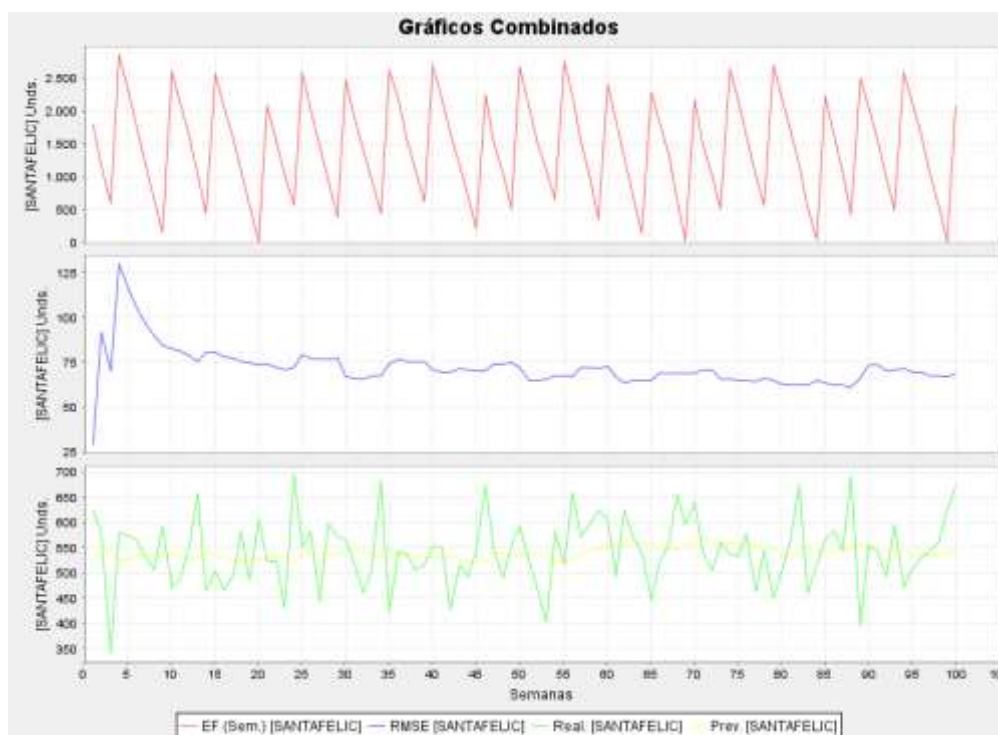


FIGURA 37 – DEMANDA SEM VAR. BRUSCA, PREVISÃO, RMSE E EST. FÍSICO, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA FIXO  
 FONTE: O AUTOR

O gráfico da (FIGURA 38) abaixo compara as duas taxas de atendimento com e sem degrau aplicado na demanda. Pode-se avaliar o impacto que causa a ruptura de estoque na deterioração da taxa de atendimento, com o seu valor caindo para uma disponibilidade de estoque abaixo de 80%. A queda inicial da taxa de atendimento não é considerada pois trata-se do início da simulação e o sistema está saindo das condições iniciais e entrando em regime.

A (FIGURA 39) a seguir apresenta a mesma situação de mudança brusca porém com a loja “SANTAFELIC” gerindo o estoque por revisão contínua com estoque de segurança variável, que leva em consideração a variância do *lead time* do fornecedor.

Percebe-se que ainda há ruptura de estoque e queda da taxa de atendimento, porém o tempo de ruptura é menor porque para compensar a variância

do *lead time*, o nível médio do estoque de segurança aumentou. Os *logs* desse cenário estão no arquivo CENAGR01CL1.pdf

Modificou-se novamente a política de controle de estoque da loja “SANTAFELIC” para revisão periódica com estoque de segurança variável e observou-se o comportamento frente a mudança repentina de demanda.

A queda da taxa de atendimento se mostrou ainda maior, conforme pode-se ver no gráfico da (FIGURA 40) a seguir. O período de ressuprimento ocorreu depois do degrau da demanda, ao passo que a ruptura de estoque aconteceu praticamente no meio do período de vinte e cinco dias de duração do degrau.

O aumento de estoque de segurança como reflexo do maior erro de previsão elevou desnecessariamente o estoque de segurança a níveis ainda maiores que a política de revisão contínua, uma vez que o pedido é calculado pela diferença entre o estoque máximo e o estoque no momento do ressuprimento. Como o estoque sofreu ruptura, o próximo pedido será o valor do estoque máximo  $M^*$ . Os *logs* desse cenário estão no arquivo CENAGR01DL1.pdf.

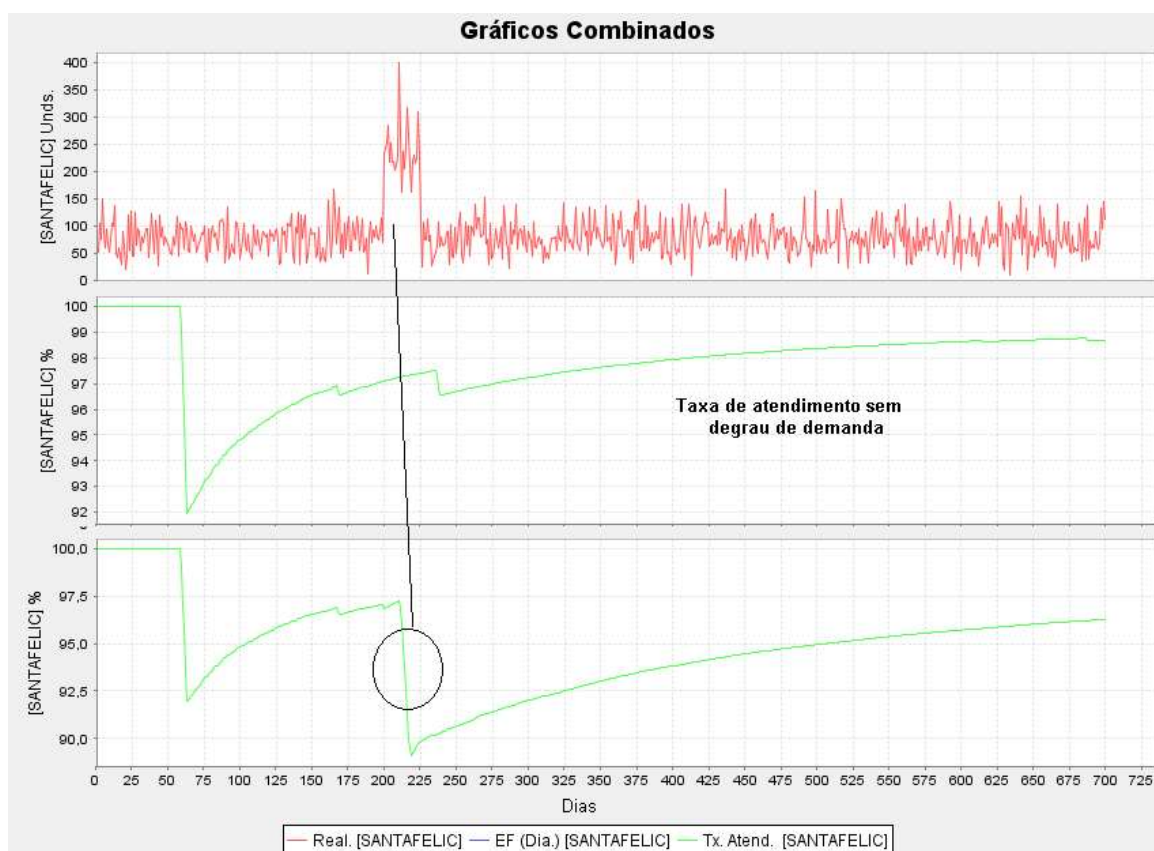


FIGURA 38 – DEMANDA E TAXA DE ATENDIMENTO COM E SEM VAR. BRUSCA, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA FIXO  
FONTE: O AUTOR

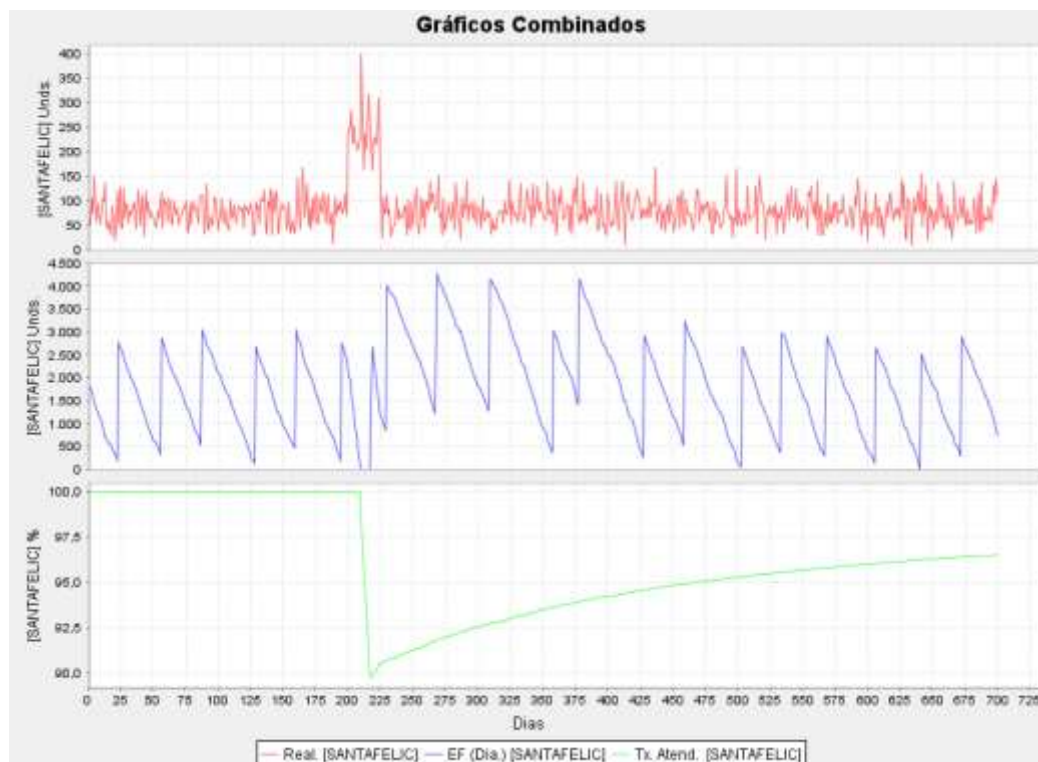


FIGURA 39 – DEMANDA, ESTQ. FÍSICO E TAXA DE ATENDIMENTO COM VAR. BRUSCA, REVISÃO CONTÍNUA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA VARIÁVEL

FONTE: O AUTOR

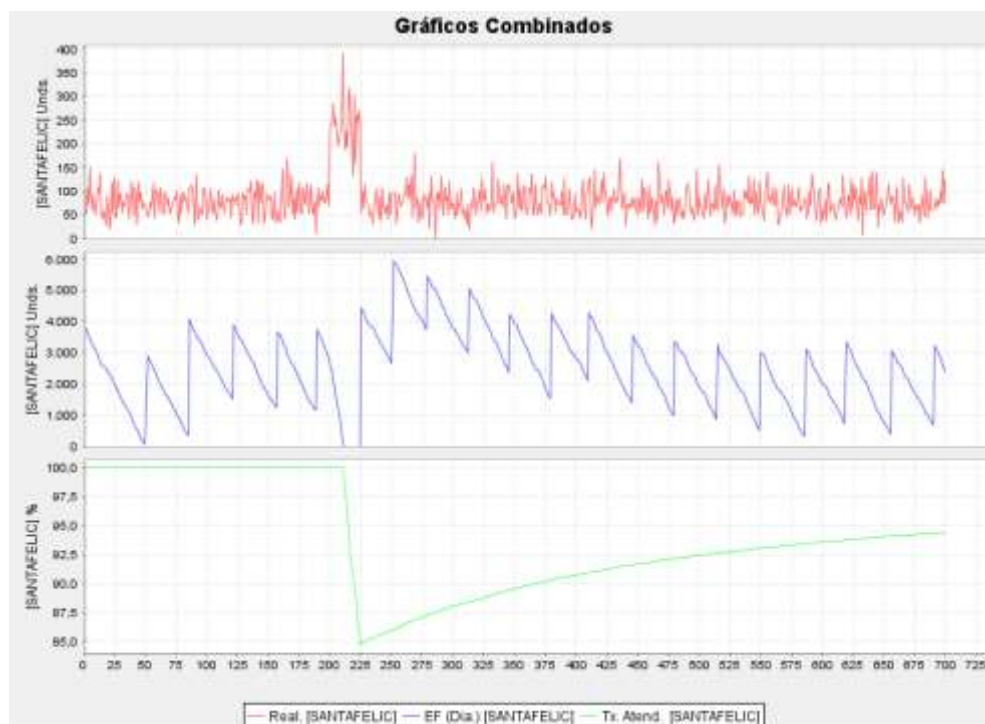


FIGURA 40 – DEMANDA, ESTQ. FÍSICO E TAXA DE ATENDIMENTO COM VAR. BRUSCA, REVISÃO PERIÓDICA COM ESTOQUE DE SEGURANÇA VARIÁVEL

FONTE: O AUTOR



### 4.3 CENÁRIO B – VARIAÇÃO DO LEAD TIME

Manteve-se a configuração original do cenário A, retornando a loja “SANTAFELIC” a operar com revisão contínua com estoque de segurança fixo, e melhorou-se o tempo de *lead time* do centro de distribuição de “CURITIBA” de catorze para oito dias, mantendo o seu desvio padrão em um dia.

Como o critério de seleção de fornecedor da loja “SANTAFELIC” é pelo menor ROP, irá sempre tentar selecionar o centro de distribuição “CURITIBA” pois a diminuição do *lead time* reflete-se na diminuição do valor do limiar de ressurgimento.

Comparando-se a (FIGURA 38) com a (FIGURA 41) abaixo percebe-se que a taxa de atendimento ainda indica ruptura de estoque entretanto o *lead time* reduzido diminuiu o período de ruptura. A degradação da taxa de atendimento foi menor, se mantendo acima de 93%. Os logs desse cenário estão no arquivo CENBGR01AL1.pdf.

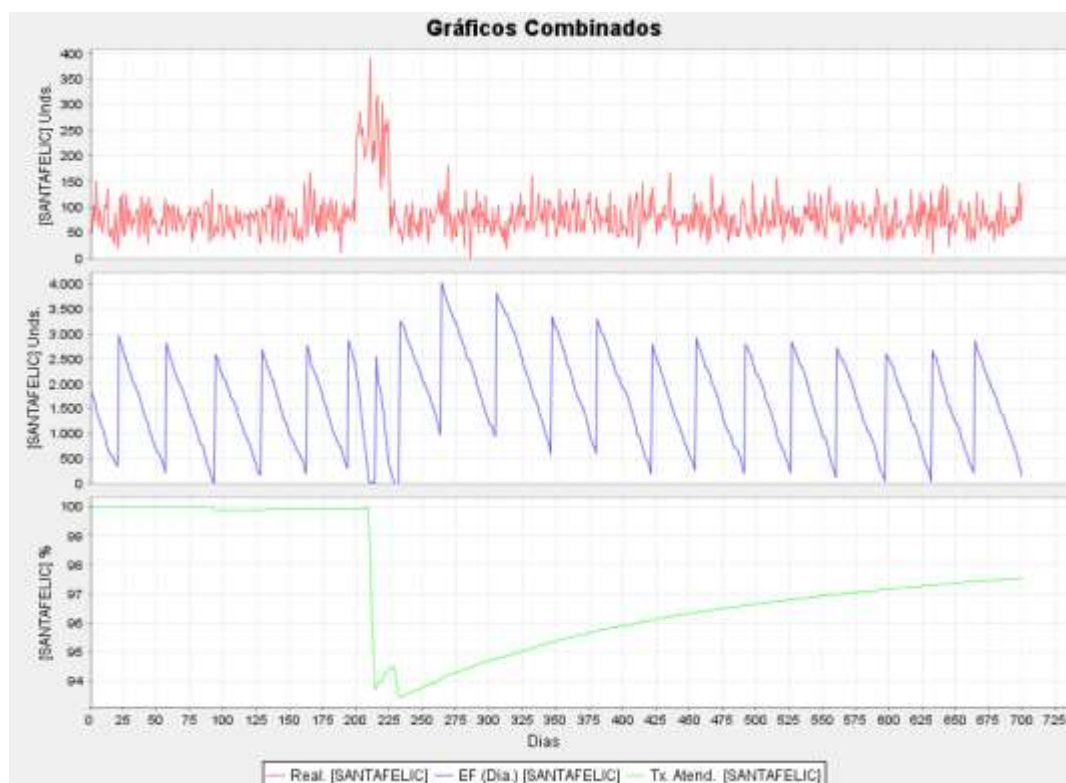


FIGURA 41 – TAXA DE ATENDIMENTO LOJA “SANTAFELIC” COM LEAD TIME REDUZIDO, CONTROLE DE ESTQ. POR REVISÃO CONTÍNUA E ESTQ. SEGURANÇA FIXO

FONTE: O AUTOR

Para o caso do controle de estoque por revisão contínua com estoque de segurança variável a resposta apresenta-se praticamente a mesma. O pequeno desvio padrão do *lead time* do centro de distribuição resulta em uma diferença pequena entre os níveis de ressuprimento (ROP) com estoque de segurança fixo e variável, que pode ser visto na (FIGURA 42) a seguir. Os logs desse cenário estão no arquivo CENBGR01BL1.pdf.

Observa-se o impacto da redução do *lead time* utilizando-se a política de estoque por revisão periódica com estoque de segurança variável na (FIGURA 43) abaixo. O tempo em que o estoque permaneceu em ruptura e o estoque médio após a ocorrência da variação abrupta da demanda diminuíram porém ainda apresentam piores resultados comparado às políticas de revisão contínua. A taxa de atendimento permaneceu abaixo de 90%.

O resultado apresentado está em linha com as considerações de Rosa, Mayerle e Gonçalves (2010). Os autores em estudo comparativo usando técnicas de simulação concluíram que o estoque médio apresenta valor maior para o controle de estoque por revisão periódica quando ambas políticas são submetidas a diferentes valores de média e desvio padrão de *lead time*. Os logs desse cenário estão no arquivo CENBGR01CL1.pdf.

Pode-se igualmente concluir que a redução no tempo de *lead time* apresenta um efeito direto no tempo de resposta à variações de demanda tornando a cadeia de suprimentos mais responsiva a variações bruscas de demanda.

O gráfico a seguir (FIGURA 44) representa o comportamento de atendimento caso a fábrica “SAOPAULO” reduzisse seu *lead time* corrente de vinte e oito dias para duas semanas e o desvio padrão de cinco para dois dias. A loja “SANTAFELIC” está novamente submetida ao controle de estoque por revisão contínua com estoque de segurança variável.

Mais uma vez percebe-se um ganho de qualidade no atendimento ao cliente, mantendo-se a taxa de atendimento acima de 95% mesmo com uma variação repentina de mais de 200% no volume da demanda. Os logs desse cenário estão no arquivo CENBGR01DL1.pdf.

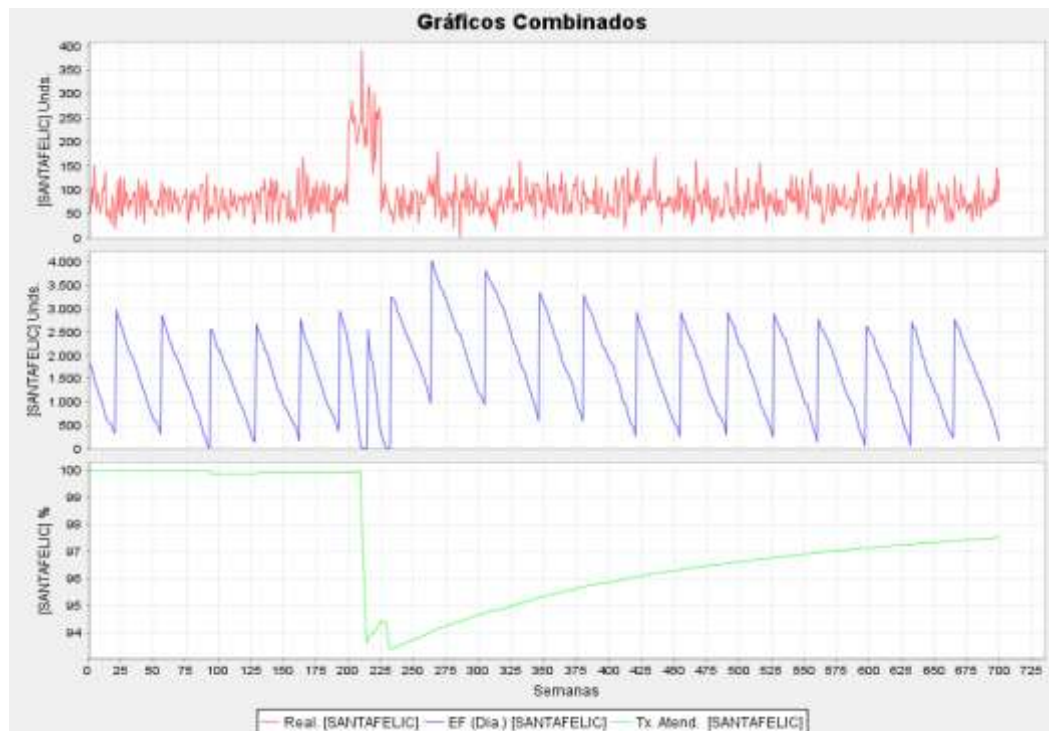


FIGURA 42 – TAXA DE ATENDIMENTO LOJA “SANTAFELIC” COM LEAD TIME REDUZIDO, CONTROLE DE ESTQ. POR REVISÃO CONTÍNUA E ESTQ. SEGURANÇA VARIÁVEL

FONTE: O AUTOR

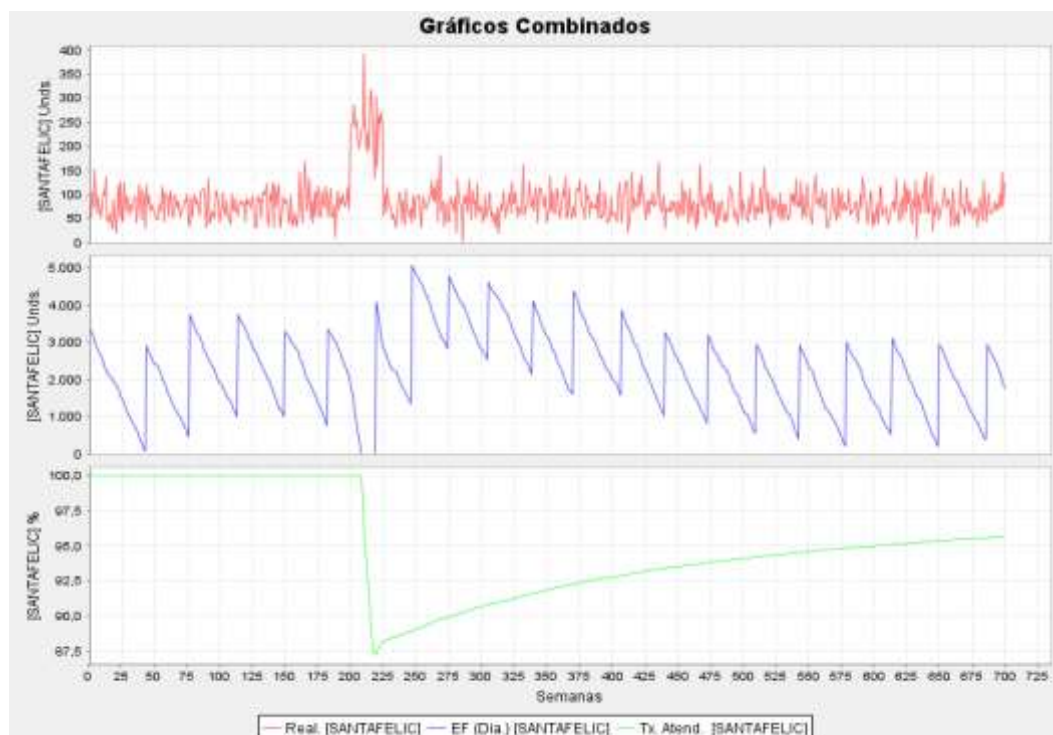


FIGURA 43 – TAXA DE ATENDIMENTO LOJA “SANTAFELIC” COM LEAD TIME REDUZIDO, CONTROLE DE ESTQ. POR REVISÃO PERIÓDICA E ESTQ. SEGURANÇA VARIÁVEL

FONTE: O AUTOR



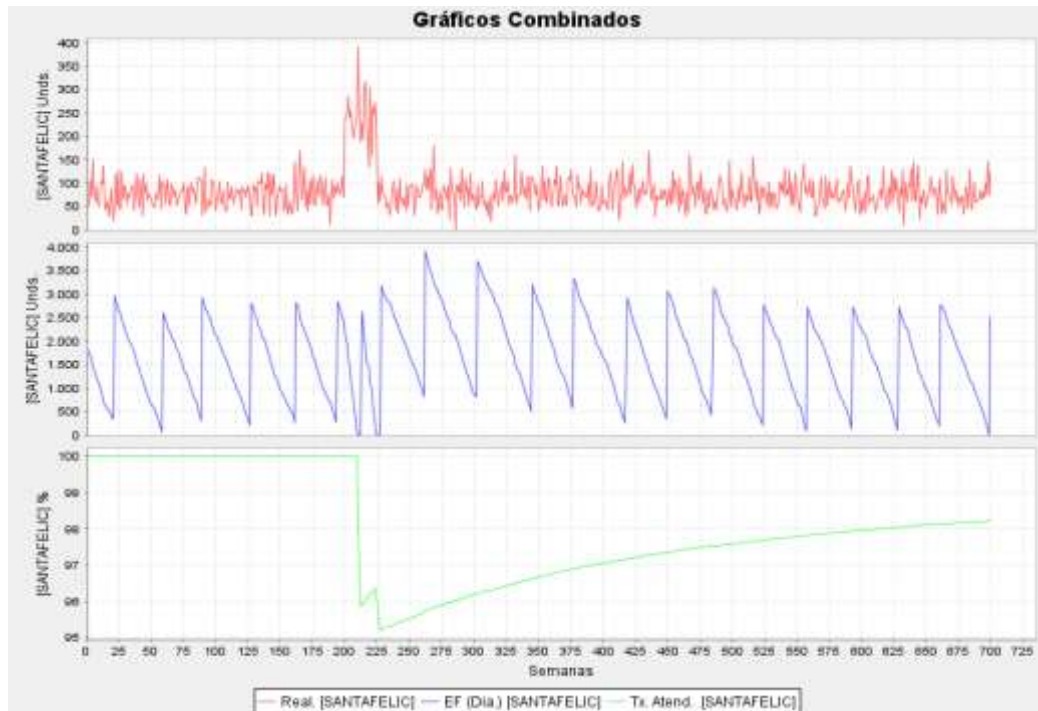


FIGURA 44 – TAXA DE ATENDIMENTO LOJA “SANTAFELIC” COM LEAD TIME REDUZIDO NO C.D. E FÁBRICA, CONTROLE DE ESTQ. POR REVISÃO CONTÍNUA E ESTQ. SEG. VARIÁVEL

FONTE: O AUTOR

#### 4.4 CENÁRIO C – ANÁLISE ESTATÍSTICA PÓS-SIMULAÇÃO

O algoritmo responsável pela análise comparativa entre os métodos de previsões (conforme item 3.3.7) informa que o método de previsão Amortecimento Exp. Simples com  $\alpha = 0,1$  apresenta o menor valor de RMSE para o perfil de demanda da “LOJA 1”, como pode ser observado na (FIGURA 45).

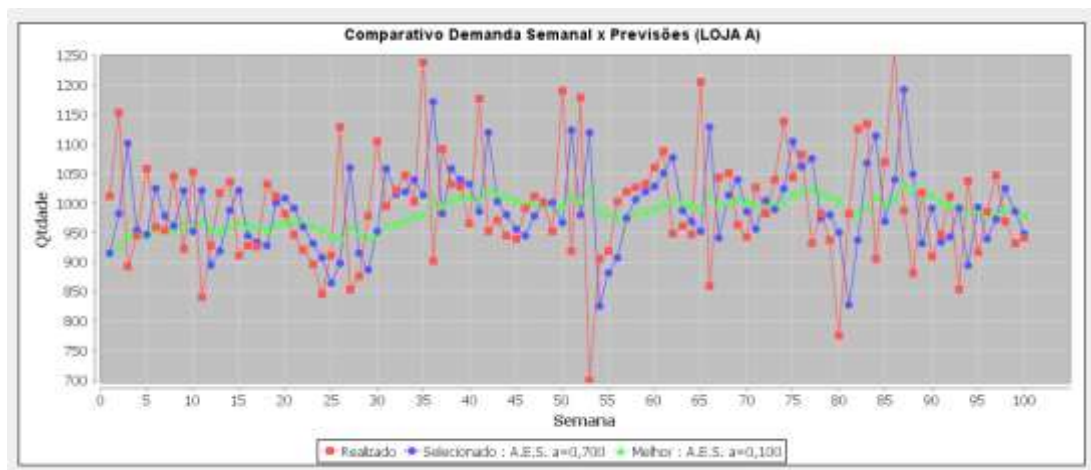


FIGURA 45 – COMPARATIVO DESEMP. MÉTODOS DE PREVISÃO “LOJA A”

FONTE: O AUTOR

Os valores da (TABELA 2) abaixo podem ser calculados contabilizando-se os valores dos custos e taxa de atendimento médio encontrados no log dos arquivos citados na coluna “Arquivos”.

Ao se aplicar a mudança descrita no cenário a), percebeu-se que o custo total médio de estoque para a “LOJA A” reduziu cerca de 1,6%. O método de previsão aumentou a sua precisão, entretanto devido a variabilidade da demanda a taxa de atendimento caiu cerca de 1%. A redução do valor do RMSE resultou em um estoque de segurança menor. Analisando os *logs* de simulação, observou-se que o custo do estoque de segurança médio na configuração original era de R\$ 3.346,58, ao passo que para o cenário a) este custo reduziu-se para R\$ 3.236,72. A política de estoque da “LOJA A” não está levando em consideração a variância do *lead time*, o que aumentaria o nível do estoque de segurança. Não considerar esta variância ao administrar estoques degrada a taxa de atendimento devido ao aumento dos eventos de ruptura de estoque, o que de fato foi observado.

Para o cenário b) a aplicação do método de revisão contínua com estoque de segurança variável leva em consideração a variância do *lead time* do fornecedor. Na (TABELA 2) pode-se observar que a taxa média de atendimento atingiu um valor próximo de cem por cento, entretanto o custo total de estoque da “LOJA A” aumentou, bem como o custo total da cadeia de suprimentos. O estoque de segurança médio da “LOJA A” aumentou para R\$ 4.324,33, pois agora a política de gestão de estoque está compensando a variabilidade do *lead time* com um nível mais alto de estoque de segurança.

O cenário c) modifica o critério de escolha do fornecedor da “LOJA A” para emitir o pedido quando for atingido o menor valor de ROP. Como resultado verifica-se que a taxa de atendimento ainda se mantém quase no máximo. O custo total, tanto da loja quanto da cadeia de suprimentos foi reduzido, uma vez que a loja estará sempre emitindo o seu pedido com os menores valores de ROP possíveis do conjunto disponível de fornecedores (“C.D. A” e “C. D. B”)

Neste caso, em alguns momentos o centro de distribuição com menor valor de ROP pode não ter estoque físico para atender a “LOJA 1”, passando então a emitir o pedido para o fornecedor com o segundo melhor nível de ROP. Ao se analisar os *logs* do cenário, percebe-se um aumento nos custos de estoque do “CD A”, devido ao incremento da demanda causada pelos pedidos da “LOJA A”.

No cenário d) reduziu-se o *lead time* do fornecedor “C. D. B”, que passou a ser fixo novamente para a entidade “LOJA A”, que passou de vinte e quatro dias para sete dias. Sua variância também reduziu de dois para um dia e meio. O custo de aquisição para a “LOJA A”, simulando-se assim o repasse de custos causado por essa melhoria da resposta de atendimento, aumentou de trinta e quatro reais para cento e dois reais. Os custos de estoque da “LOJA A” por consequência aumentaram cerca duas vezes, refletindo no custo total da cadeia de suprimentos. A razão do aumento do custo é explicada pelo fato da melhoria do *lead time* do centro de distribuição não ser refletida para o lado *upstream* da cadeia.

Melhorar o *lead time* de forma isolada não resulta necessariamente em redução de custos de estoque pois o elo seguinte praticamente anula este aumento de eficiência. De fato, se observa nos *logs* do cenário d) que o *lead time* médio para a entidade “LOJA A” é maior que a média configurada para o “C. D. B”. A sua variância é quase cinco vezes maior que a variância configurada.

Essa discrepância nos valores indica que muitos pedidos emitidos pela “LOJA A” para o centro de distribuição “C. D. B” sofreram atraso. É inútil diminuir o *lead time* se o fornecedor de “C.D. B”, no caso a “FÁBRICA B”, mantiver seu tempo de *lead time* alto, como pode ser visto neste cenário de simulação.

Os valores maiores de variância do centro de distribuição “C.D. B” igualmente causam aumento do nível do estoque de segurança da loja “LOJA A”, uma vez que a sua política de estoque é sensível à variância do *lead time*. Este fator associado a um valor maior do lote econômico do pedido ( $Q^*$ ), causado pelo aumento do custo de aquisição, resultam em um valor médio do estoque da “LOJA A” bem maior que os cenários anteriores.

TABELA 2 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS CENÁRIO INTEGRADO

(CONTINUA)

CENÁRIO INTEGRADO - ESTATÍSTICA PÓS-SIMULAÇÃO						
Cenário		Simulação			Média	Arquivos (txt)
		#1	#2	#3		
Cenário Original	Custo Total Loja A (R\$)	4.480,59	4.587,74	4.644,82	4.571,05	ESTAT_CEN_ORIG_SEED_02;
	Custo Total CS (R\$)	41.896,82	43.371,22	42.302,16	42.523,40	ESTAT_CEN_ORIG_SEED_12;
	Taxa Atendimento	95,65	98,1	99,73	97,83	ESTAT_CEN_ORIG_SEED_22
Cenário a	Custo Total Loja A (R\$)	4.628,67	4.357,16	4.501,93	4.495,92	ESTAT_CEN_A_SEED_02;
	Custo Total CS (R\$)	42.139,80	42.371,28	42.476,16	42.329,08	ESTAT_CEN_A_SEED_12;
	Taxa Atendimento (%)	93,03	97,66	99,55	96,75	ESTAT_CEN_A_SEED_22

FONTE – O AUTOR

TABELA 2 – RESULTADOS ESTATÍSTICOS CENÁRIO INTEGRADO

(CONTINUAÇÃO)

CENÁRIO INTEGRADO - ESTATÍSTICA PÓS-SIMULAÇÃO						
Cenário		Simulação			Média	Arquivos (txt)
		#1	#2	#3		
Cenário b	Custo Total Loja A (R\$)	5.413,52	5.415,46	5.974,98	5.601,32	ESTAT_CEN_B_SEED_02;
	Custo Total CS (R\$)	42.844,87	45.704,25	44.528,49	44.359,20	ESTAT_CEN_B_SEED_12;
	Taxa Atendimento (%)	99,41	100,00	100,00	99,80	ESTAT_CEN_B_SEED_22
Cenário c	Custo Total Loja A (R\$)	4.924,28	5.252,19	4.932,36	5.036,28	ESTAT_CEN_C_SEED_02;
	Custo Total CS (R\$)	42.763,98	45.733,82	43.631,64	44.043,15	ESTAT_CEN_C_SEED_12;
	Taxa Atendimento (%)	99,78	99,14	99,32	99,41	ESTAT_CEN_C_SEED_22
Cenário d	Custo Total Loja A (R\$)	10.133,56	10.576,27	8.863,54	9.857,79	ESTAT_CEN_E_SEED_02;
	Custo Total CS (R\$)	48.638,56	50.309,99	48.047,21	48.998,59	ESTAT_CEN_E_SEED_12;
	Taxa Atendimento (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	ESTAT_CEN_E_SEED_22

FONTE – O AUTOR

## 5 CONCLUSÃO

Os métodos analíticos são capazes de explicar as iterações que acontecem quando o fluxo de produtos ao longo de uma cadeia de suprimentos é submetido a diferentes políticas de controle de estoque, frente a variações inesperadas da demanda e do *lead time*. Entretanto estes não rivalizam com a rapidez e a simplicidade oferecida pela técnica de simulação.

Essa simplicidade cobra o seu custo, e em acordo com Banks (1998), o estágio de análise e construção do modelo se revelou a fase mais complexa e demorada do desenvolvimento do software de simulação.

Apesar do desenvolvimento mais longo, a estratégia adotada de criar-se a partir do zero a estrutura que sustenta o algoritmo do software de simulação demonstrou ser a mais correta. O acerto desta decisão se tornou evidente na fase de testes e validação das funcionalidades, permitindo que as inconformidades geradas por erros no código fossem rapidamente identificadas e corrigidas.

A duração destas fase certamente seria maior caso a opção de utilizar código de terceiros fosse adotada. Além da curva de aprendizagem necessária para entender o código fonte de uma biblioteca externa, seria necessário adequá-lo às necessidades específicas do algoritmo de simulação durante a fase de desenvolvimento. Identificar erros nos algoritmos implementados igualmente demandaria mais tempo de depuração.

O uso da técnica de eventos discretos tornou a construção do software menos complexa. As principais variáveis que atuam sobre o desempenho do modelo de simulação são de natureza intrinsecamente discreta. Além disto a temporização utilizada pelo algoritmo é quantizada, se deslocando no eixo do tempo em saltos determinados pelas distribuições exponenciais que caracterizam o intervalo de chegada dos clientes ou pelo *lead time* de recebimento dos pedidos.

A usabilidade do software de simulação também foi foco importante ao longo do desenvolvimento. As configurações de cada entidade são concentradas em um grupo pequeno de janelas, pode-se salvar diretamente em arquivo texto os *logs* de cada simulação executada, o que facilita a análise e comparação com outras rodadas de simulação. A combinação flexível de gráficos permite que o usuário

consiga visualizar e comparar diferentes informações de até três entidades distintas na mesma janela.

Os cenários descritos no capítulo anterior expuseram a dificuldade, mesmo com o uso de simulação, de manter-se um nível de serviço satisfatório e ao mesmo tempo um estoque médio que resulte em custos mínimos durante a ocorrência de variações repentinas de demanda, ou variações do tempo de *lead time*.

Os cenários citados não extinguem as possibilidades de aplicações do simulador, várias questões podem ser exploradas, citando-se algumas:

- a) Qual o menor custo total de estoque possível, dado determinada taxa de atendimento e tempo de *lead time* ?;
- b) A diminuição do tempo de *lead time* pode implicar aumento do custo de aquisição e conseqüentemente um tamanho maior do lote econômico do pedido. Dado uma determinada taxa de atendimento, para quais valores de tempo de *lead time* e custo de aquisição temos o menor custo total ?
- c) Qual o menor tempo possível para que os níveis médios de estoque fiquem estáveis após um degrau abrupto de demanda? Que política de estoque possibilitaria esse tempo ótimo?

O principal objetivo desta pesquisa foi atingido: Utilizando-se da técnica de simulação de eventos discretos e o suporte da linguagem de uso geral Java foi possível modelar e desenvolver um software de simulação de cadeia de suprimentos.

A dimensão da cadeia de suprimentos é escalável, independente de qualquer plataforma de simulação e implementa as principais políticas de controle de estoque encontradas na literatura. Suas principais variáveis são modeladas por distribuições de probabilidade, funcionalidade trivial apenas em pacotes comerciais de simulação.

A utilização deste software de simulação poderá contribuir para a compreensão do comportamento tanto dos custos de estoques associados a cada entidade quanto do custo integrado da cadeia de suprimentos, frente a variações da demanda e do *lead time*.

Como sugestão para futuros trabalhos, propõe-se o aumento da complexidade da entidade Fábrica no modelo de simulação uma vez que para este projeto, a capacidade da fábrica foi considerada infinita. Esta simplificação implica

que sempre há estoque disponível para atendimento dos pedidos emitidos pelas entidades Centro de Distribuição.

Apesar de não invalidar o modelo desenvolvido, essa simplificação gera comportamentos não desejados. Ao se definir o critério de seleção de fornecedor por menor ROP, por exemplo, as entidades Centro de Distribuição acabam escolhendo sempre a fábrica com menor *lead time*. Na prática isto pode não ser verdadeiro, uma vez que as manufaturas também enfrentam cenários de ruptura de estoque e portanto o tempo de *lead time* pode sofrer atrasos.

O modelo de simulação atual suporta somente o fluxo de um único produto ao longo da cadeia, a inclusão de mais produtos geraria implicações interessantes como por exemplo, a otimização do número de pedidos de forma a não impactar os custos de aquisição.

Finalmente, o suporte de novos perfis de demanda com características de sazonalidade ofereceriam condições para se verificar o impacto causado por variações cíclicas da demanda sobre os estoque médios e os níveis de atendimento dos diversos elementos da cadeia de suprimentos.

## REFERÊNCIAS

ABDELHABIB, B.; BRAHIM, B. **JAPROSIM : A Java framework for Process Simulation Interaction Discrete Event Simulation**. Journal of Object Technology, v. 7, n. 1, p. 103-119, 2008.

ANGULO, A.; NACHTMANN, H.; WALLER, M. A. **Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership**. Journal of business logistics, v. 25, n. 1, p. 101-120, 2004.

ARNOLD, J. T.; CHAPMAN, S. N.; CLIVE, L.M. **Introduction to materials management**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

BANKS, J. **Handbook of Simulation, Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice** Edited by. J. Banks, John Wiley & Sons, Inc, 1998

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-Event System Simulation** 3a. Ed. Editora Prentice Hall, EUA, 2000

BANKS, C. M. **Discret-Event Simulation Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains**, Edited by John A. Sokolowski and Catherine M. Banks, John Wiley & Sons, Inc., 2010

BALLOU R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. Porto Alegre : Bookman, 5. ed, 2006.

BEAMON, B. **Supply chain design and analysis: Models and methods**. International journal of production economics, n. 1, p. 1-22, 1998.

BEAMON, B. M. **Measuring supply chain performance**. International Journal of Operations & Production Management, v. 19, n. 3, p. 275-292, 1999.

BOYER, K. K.; VERMA, R. **Operations and supply chain management for the 21st century**. South-Western Pub, 2009.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial : o processo de integração da cadeia de suprimentos** Editora Atlas, 1ª ed., 9ª reimp., São Paulo, 2010.



BOURNE, M.; NEELY, A.; MILLS, J.; PLATTS, K. **Implementing performance measurement systems: a literature review**, Int. J. Business Performance Management, Vol. 5, No. 1, pp.1-24, 2003.

BRUZZONE, A.; FADDA, P.; FANCELLO, G.; *et al.* **Logistics node simulator as an enabler for supply chain development: innovative portainer simulator as the assessment tool for human factors in port cranes**. Simulation, v. 87, n. 10, p. 857–874, 2011.

CASSANDRAS, C. G.; LAFORTUNE, S. **Introduction to Discrete Event Systems**. 2a Ed., Editora Springer, EUA, 2008.

CAVES, R. E. **Multinational Enterprise and Economic Analysis** Cambridge University Press, 1996

CAVES, R. E.; FRANKEL, J. A.; JONES, R. W. **Economia Internacional: Comércio e Transações Globais**, Editora Saraiva, São Paulo, 2001.

CÉSAR JÚNIOR, O. 2005. **Uma contribuição à análise de cadeias de suprimento através de simulação computacional** Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade, Católica do Paraná, Paraná, 2005.

CHANG, Y.; MAKATSORIS, H. **Supply chain modeling using simulation**. International Journal of simulation, v. 2, n. 1, p. 24-30, 2001.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**, Pearsons Education Limited, 4 ed., 2011.

CONTADOR, J. C. **Planejamento estratégico: recomendações sobre os ambientes externo e interno**. Rev. adm. empres., vol.35, n.2, pp. 43-56, 1995 .

COPE, D.; FAYEZ, M. S. **Supply chain simulation modeling made easy: An innovative approach**. 2007 Winter Simulation Conference, p. 1887–1896, 2007. IEEE.

COYLE, J. J.; LANGLEY, C. J.; GIBSON, B.; NOVACK, R. A. **Supply chain management: a logistics perspective**. South-Western Pub, 2008

CHWIF, L.; BARRETTO, M. R. P.; SALIBY, E. **Supply chain analysis: supply chain analysis: spreadsheet or simulation?** Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers. Winter Simulation Conference, p. 59-66, 2002.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação de eventos discretos : teoria & aplicações**. Editora dos Autores, São Paulo, 2007.

DIAZ, R.; BEHR, J. G. **Discret-Event Simulation Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains**, Edited by John A. Sokolowski and Catherine M. Banks, John Wiley & Sons, Inc., 2010

FERREIRA, L. **Um modelo baseado em agentes para Análise de Cadeias de Suprimentos** Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Administração Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FISHER, M. L. **What is the Right Supply Chain for Your Product ?** Harvard Business Review, FISHER, Marshall L. What is the right supply chain for your product? Harvard business review, v. 75, p. 105-117, 1997.

FLEISCHMANN, M.; VAN NUNEN, J. A. E. E.; GRÄVE, B. **Integrating closed-loop supply chains and spare-parts management at IBM**. *Interfaces*, v. 33, n. 6, p. 44-56, 2003.

FLEURY, A. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

FREDERICO, G.; MARTINS, R. **Modelo para alinhamento entre a maturidade dos sistemas de medição de desempenho e a maturidade da gestão da cadeia de suprimentos**. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 857-871, 2012

FULLER, J. B.; O'CONOR, J.; RAWLINSON, R.. **Tailored logistics: the next advantage**. Harvard Business Review, v. 71, p. 87-87, 1993.

GANGA, G. M. D. **Proposta de um Modelo de Simulação baseado em Logica Fuzzy e no SCOR para prever o desempenho da Empresa-Foco em Cadeias de Suprimentos**. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia

de Produção Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª. ed., Editora Atlas, São Paulo 2002.

GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; TIRTIROGLU, E. **Performance measures and metrics in a supply chain environment**. International Journal of Operations & Production Management, v. 21, n. 1-2, p. 71-87, 2001

HARRIS, F. W. **How many parts to make at once**. Factory, The Magazine of Management v. 10, n. 2, pgs. 135-136, 162, 1913

HARRISON, A.; HOEK, R. I. V. **Logistics Management & Strategy: Competing Through the Supply Chain**. 3ª ed., Prentice Hall, 2008.

HWARNG, H. B.; CHONG, C. S. P.; XIE, N.; BURGESS, T. F. **Modeling a complex supply chain: understanding the effect of simplified assumptions**. International Journal of Production Research, v. 43, n. 13, p. 2829-2872, 2005.

HERRMANN, J. W.; LIN, E.; PUNDOOR, G. **Supply Chain Simulation Modeling using the Supply Chain Operations**. Proceedings of Design Engineering Technical Conferences and Computer and Information Engineering Conference, p. 1-9, 2003.

HIRSCHEY, M. **Managerial Economics**. 12a. ed. Editora Cengage Learning, Estados Unidos, 2009.

HONGYU, J.; XIA, L.; YAN, C. **The Research of a Distributed Simulation Method of Information Sharing in Supply Chain**. 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing, , n. 1, p. 596–599, 2010. IEEE.

IANNONE, R.; MIRANDA, S.; RIEMMA, S. **Supply chain distributed simulation: An efficient architecture for multi-model synchronization**. Simulation Modelling Practice and Theory, v. 15, n. 3, p. 221–236, 2007.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) **1516-2010 - IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Framework and Rules**. Norma IEEE, 2013 Disponível em : < <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1516-2010.html>> Acessado em : 08/06/2013.

INGELS, D. M.. **What every engineer should know about computer modeling and simulation.** New York: M. Dekker, 1985

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. **Simulation with Arena.** 2 ed. New York/USA: McGraw-Hill Companies, 2002.

KIEKINTVELD, C.; MILLER, J.; JORDAN, P. R.; CALLENDER, L. F.; WELLMAN, M. P. **Forecasting market prices in a supply chain game.** Electronic Commerce Research and Applications, v. 8, n. 2, p. 63-77, 2009.

KUBAT, C.; UYGUN, Ö. **HLA-based supply chain management for Sakarya automotive suppliers.** In: Proceedings of 3rd I\* PROMS Virtual International Conference. 2007. p. 413-418.

LAW, A. M.; KELTON, D. W.; **Simulation Modeling and Analysis** 3a. Ed. Editora McGraw Hill, EUA, 2000.

LEE, H. L. **Aligning supply chain strategies with product uncertainties.** California management review, v. 44, n. 3, 2002.

LEE, Y. H.; CHO, M. K.; KIM, S. J.; , S.; KIM, Y. B. **Supply chain simulation with discrete-continuous combined modeling.** Computers & Industrial Engineering, v. 43, p. 375-392, 2002.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. **The bullwhip effect in supply Chains.** Sloan management review, v. 38, n. 3, p. 93-102, 1997.

LIBEROPOULOS, G.; KOUKOUMIALOS, S. **Tradeoffs between Base Stock Levels , Numbers of Kanbans and Planned Supply Lead Times in Production-Inventory Systems with Advance Demand Information.** International Journal of Production Economics, v. 96, n. 2, p. 213-232, 2005.

LIOTTA, G. **Simulation of supply-chain networks: a source of innovation and competitive advantage for small and medium-sized enterprises.** Technology Innovation Management Review, p. 13-20, Novembro, 2012.

LIOTTA, G. **Role and Novel Trends of Production Network Simulation** Robust Manufacturing Control. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 233-245.

LIM, S. J.; JEONG, S. J.; KIM, K. S.; PARK, M. W. **A simulation approach for production-distribution planning with consideration given to replenishment policies.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27(5-6), 593-603, 2006.

LONG, Q.; LIN, J.; SUN, Z. **Modeling and distributed simulation of supply chain with a multi-agent platform.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 55, n. 9-12, p. 1241–1252, 2011.

LONGO, F.; MIRABELLI, G. **An advanced supply chain management tool based on modeling and simulation.** Computers & Industrial Engineering, v. 54, n. 3, p. 570-588, 2008.

LONGO, F. **Supply Chain Management Based on Modeling & Simulation: State of the Art and Application Examples in Inventory and Warehouse Management.** InTech, Vienna, p. 93-144, 2011a.

LONGO, F. **Advances of modeling and simulation in supply chain and industry.** Simulation, v. 87, n. 8, p. 651-656, 2011b.

LOPES, L. S. P. **Modelo de Apoio à Aprendizagem de Gestão de Cadeia de Suprimentos Utilizando a Metodologia *System Dynamics*.** Tese de Doutorado Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

LOUREIRO, S. A. **Uso integrado de métodos de simulação de eventos discretos e contínuos na resolução de problemas logísticos em parques de diversão.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2009.

MACHADO, A. O.; CAMPOS, R. DE; FERREIRA, A. DA S. **Uma Comparação entre Jogos de Empresas Aplicados à Logística.** XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Gramado, RS, 2005.

MACHLINE, C. **Compras, estoques e inflação.** Revista de Administração de Empresas, v. 21, n. 2, p. 7-15, 1981.

MANUJ, I.; MENTZER, J.T.; BOWERS, M. R. **Improving the rigor of discrete-event simulation in logistics and supply chain research.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 39, n. 3, p. 172-201, 2009.

MARION, J. C.; MARION, A. L. C. **Metodologias de Ensino na Área de Negócios: Para Cursos de Administração, Gestão, Contabilidade e MBA.** 1a. Ed. Editora Atlas, Brasil, 2006.

MARIA, A. **Introduction To Modeling And Simulation.** Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson, 1997.

MERSCHMANN, U.; THONEMANN, U. W. **Supply chain flexibility, uncertainty and firm performance: An empirical analysis of German manufacturing firms.** International Journal of Production Economics, v. 130, n. 1, p. 43–53, 2011.  
Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527310004068>>.  
Acesso em: 9/1/2014.

MIN, H.; ZHOU, G. **Supply chain modeling: past, present and future.** Computers & Industrial Engineering, v. 43, n. 1-2, p. 231–249, 2002.

MINDERHOUD, S.; FRASER, P. **Shifting paradigms of product development in fast and dynamic markets.** Reliability Engineering & System Safety, Volume 88, Issue 2, p. 127-135, 2005.

MURY, A.R. **Simulando a cadeia de suprimento através de um jogo logístico: um processo de treinamento.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

NANCE, R. E. **History of programming languages** ACM New York, NY, USA, 1996.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. **Performance measurement system design: A literature review and research agenda.** International Journal of Operations & Production Management, v. 25, n. 12, p. 1228-1263, 2005.

OLIVEIRA, C. M. **Desenvolvimento de um sistema de simulação para Cadeias de Suprimentos.** Tese de Doutorado, Comissão de Pós Graduação, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 2004.

PEIXOTO, E. C.; PINTO, L. R. **Gerenciamento de Estoques via previsão de vendas agregadas utilizando simulação.** Produção, v. 16, n. 3, p. 569–581, 2006.

PIDD, M. **System Modelling Theory and Practice**. Editora John Wiley&Sons Ltd, Inglaterra, 2004.

PIRES, S. R. I. **Gestão de Cadeias de Suprimentos**. 2ª ed., Editora Atlas, São Paulo, 2009.

REINER, G.; TRCKA, M. **Customized supply chain design: Problems and alternatives for a production company in the food industry**. A simulation based analysis. International Journal of Production Economics, v. 89, n. 2, p. 217-229, 2004.

ROSA, H.; MAYERLE, S. F.; GONÇALVES, M. B. **Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação**. Produção, v. 20, n. 4, 2010.

SAAD, N.; KADIRKAMANATHAN, V. **A DES approach for the contextual load modelling of supply chain system for instability analysis**. Simulation Modeling Practice and Theory, v. 14, n. 5, p. 541-563, 2006.

SHANNON, R. E. **Introduction To The Art And Science Of Simulation**. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds, 1998.

SASAKI, F. A. **Avaliação de Desempenho da Gestão da Cadeia de Suprimentos usando a Dinâmica de Sistemas**. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, PUC-PR, Curitiba, 2009.

SCOR **Supply-Chain Council (SCC). Supply-Chain Operations Reference Model (SCOR)**. Version 11.0. Disponível em : < <http://supply-chain.org/online-access> > Acesso em : 31/05/2013.

SIDDIQUI, A.; KHAN, M.; AKHTAR, S. **Supply Chain Simulator : A scenario-based educational tool to enhance student learning**. Computer & Education, v. 51 p. 252-261, 2008.

SEDGEWICK, R. **Algorithms in C**. Editora Addison-Wesley, 1990.

SEN, W.; POKHAREL, S.; YULEI, W. **Supply chain positioning strategy integration, evaluation, simulation, and optimization.** Computers & Industrial Engineering, v. 46, n. 4, p. 781-792, 2004.

SIEBERS, P. O.; AICKELIN, U.; CELIA, H.; CLEGG, C. W. **Using intelligent agents to understand management practices and retail productivity.** Simulation Conference, 2007 Winter. IEEE, 2007. p. 2212-2220, 2007.

SILVA, G. R.. **Desenvolvimento de um Modelo de Simulação para Avaliação do Desempenho de uma Cadeia de Suprimentos Multicamadas do Ramo de Mineração através da Adoção da Estratégia Colaborativa VMI (Vendor Managed Inventory).** Dissertação de Mestrado Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SIMATUPANG, T. M.; SRIDHARAN, R.. **The collaborative supply chain.** International Journal of Logistics Management, v. 13, n. 1, p. 15-30, 2002.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and Managing the Supply Chain Concepts, Strategies and Case Studies**, 3a. Ed. Editora McGraw-Hill Education, New York, London, 2007.

SOARES, L. F. G. **Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas** São Paulo: VII Escola de Computação, 1990.

STEFANOVIC, D.; STEFANOVIC, N.; RADENKOVIC, B. **Supply network modelling and simulation methodology. Simulation Modeling.** Practice and Theory, v. 17, n. 4, p. 743-766, 2009.

STEWART, William J. **Probability, Markov chains, queues, and simulation: the mathematical basis of performance modeling.** Princeton University Press, 2009.

SWEETSER, A. **A comparison of system dynamics (SD) and discrete event simulation (DES).** 17th International Conference of the System Dynamics Society. p. 20-23, 1999.

TAKO, A.; ROBINSON, S. **The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context.** Decision Support Systems, v. 52, n. 4, p. 802-815, 2012



TERZI, S.; CAVALIERI, S. **Simulation in the supply chain context: a survey.** Computers in Industry, v. 53, n. 1, p. 3-16, 2004.

TOBAIL, A.; CROWE, J.; ARISHA, A. **Learning by gaming: supply chain application.** In: Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter. IEEE, 2011. p. 3935-3946.

TURBAN, E.; MCLEAN, E.; WETHEREBE, J. **Tecnologia da Informação para gestão: Transformando negócios na economia digital**, 3ª ed., Editora Bookman, São Paulo, 2004.

YOO, T.; CHO, H.; YÜCESAN, E. **Hybrid algorithm for discrete event simulation based supply chain optimization.** Expert Systems with Applications, v. 37, n. 3, p. 2354-2361, 2010.

VAN DER VORST, J. G. A. J.; BEULENS, A. J. M; VAN BEEK, P. **Modeling and simulating multi-echelon food systems.** European Journal of Operational Research, v. 122, n. 2, p. 354-366, 2000.

VRIJHOEF, R., KOSKELA, L. **The four roles of supply chain management in construction.** European Journal of Purchasing & Supply Management, v. 6, p. 169-178, 2000.

WAINER, G. A. **Discrete-Event Modeling and A Practitioner ' s Approach.** Ed. Taylor Francis Group, LLC, EUA, 2009.

WATERS, D.. **Logistics: an introduction to supply chain management.** Palgrave Macmillan, 2003.

WOOD JR. T.; ZUFFO, P. K. **Supply Chain Management.** Revista de Administração de Empresas. São Paulo: FGV, vol. 38, n. 3, 1998.

WORLD TRADE ORGANIZATION **International Trade and Market Access Data.** Disponível em :

<





**Entidade:** Loja.

**Descrição:** Registra a demanda da entidade Loja, atualizado a cada chegada de cliente. Caso a venda seja bem sucedida o campo CLIENTE ATENDIDO é incrementado de uma unidade e a quantidade de produtos vendidos é somada ao campo PRODUTOS VENDIDOS. Em não havendo estoque para atender o cliente, o campo CLIENTE NÃO ATENDIDO é incrementado de uma unidade, e a quantidade não vendida é somada ao campo VENDA PERDIDA.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
CLI. ATEND						PROD VENDIDOS						CLI. NÃO ATENDIDO						VENDA PERDIDA								

**Nome da Variável:** *hmPedidosGerados*

**Tipo de Estrutura de dados (Java):** *HashMap*, trata-se de uma fila não ordenada cuja acesso a sequência de caracteres formada pela concatenação dos campos tipo *String* (vetor de caracteres) DATA EMISSAO DO PEDIDO + FORNECEDOR + QTDADE ORIGINAL + QTDADE ATENDIDA é feita pela chave NÚMERO DO PEDIDO. Este campo é um número inteiro cujo valor mínimo é um e incrementa uma unidade sempre que um novo pedido é gerado pela entidade.

**Entidade:** Loja, Centro de Distribuição

**Descrição:** Armazena todos os pedidos gerados pela entidade. O campo DATA EMISSÃO PEDIDO informa o dia da simulação em que o pedido de ressuprimento foi gerado para o fornecedor definido pelo campo FORNECEDOR ORIGINAL. A quantidade do pedido dada pelo campo QTDADE ORIGINAL pode não ser a mesma do campo QTDADE ATENDIDA, caso não haja estoque suficiente.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
DATA EMISSÃO PEDIDO																				FOR		QTDE ORIGINAL							

30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
DATA RECEBIMENTO PEDIDO											Q A

**Nome da Variável:** *tsPedidosdeClienteEmAberto*

**Tipo de Estrutura de dados (Java):** *TreeSet* (fila cuja ordem de ordenação é a sequência de caracteres dada pela concatenação dos caracteres formado pelos



alROPFornecedor: estrutura do tipo vetor de tamanho dinâmico (*ArrayList*) que armazena a estrutura responsável pelo cálculo dos pontos de ressuprimento (ROP) das entidades configuradas com a política de controle de estoque por revisão contínua e do *lead time* dos fornecedores para todas as políticas de controle de estoque.

## APÊNDICE B

### CÓDIGO FONTE EM JAVA PARA O CÁLCULO DO VALOR DE CHI-QUADRADO PARA O TESTE DE ADERÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DISCRETA UNIFORME

```

/**
 * Calcula o valor do chi-quadrado para N valores positivos menores que r
 * Fonte : "Algorithms in C" - Robert Sedgewick - pág. 517
 * @param randomNums array de numeros inteiros aleatorios
 * @param r          maior inteiro do array
 * @return          falso : NAO é nr random true: é nr random
 */

private boolean isRandom(int[] randomNums, int r)
{
    //De acordo com Sedgewick (1990) : "Valido se N >= 10r"
    if (randomNums.length <= 10 * r)
    {
        System.out.println("Amostra tem que ser maior ou igual a "+10*r);
        return false;
    }

    //PART A: Obtem o histograma do array de nr aleatorios
    Map<Integer,Integer> ht = getFrequencies(randomNums);

    //PART B: Calcula Chi-quadrado
    double n_r = (double)randomNums.length / r;
    double chiSquare = 0;

    for (int v : ht.values())
    {
        double f = v - n_r;
        chiSquare += f * f;
    }
    chiSquare /= n_r;

    //PART C: De acordo com Sedgewick (1990): "O valor de
    // Chi-quadrado tem que estar entre r +/- 2*RAIZ(R)"
    System.out.println("Valor de Chi-Quadrado :" + chiSquare);
    System.out.println("Limite Permitido : ["+Math.abs( chiSquare - r)+"] <=
    ["+(2 * Math.sqrt(r))+"]");
    return Math.abs(chiSquare - r) <= 2 * Math.sqrt(r);
}

/**
 * @param nums array de inteiros
 * @return      tipo Map, chave send nr, e valor sua frequencia

```

```
    */  
    /*  
  
    private Map<Integer,Integer> getFrequencies(int[] nums)  
    {  
    Map<Integer,Integer> freqs = new HashMap<Integer,Integer>();  
    for (int x : nums)  
    {  
        if (freqs.containsKey(x))  
            freqs.put(x, freqs.get(x) + 1);  
        else  
            freqs.put(x, 1);  
    }  
    return freqs;  
    }
```



## APÊNDICE C

### RESULTADO DOS TESTES ESTATÍSTICOS DE VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES GERADORAS DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

#### *A Distribuição Normal ou Gaussiana*

A (TABELA 3) a seguir apresenta os valores médios e os desvios padrões para o grupo de dez amostras contendo cada uma cinquenta valores e o resultado correspondente do teste de Kolmogorov-Smirnov. As sequências foram geradas através do código do software de simulação e sua distribuição de probabilidade é modelada por uma distribuição normal  $N(14;1,5)$ . As hipóteses testadas são as seguintes, para um erro tipo I de 0,05 (5%):

Ho : A amostra tem um padrão de distribuição de probabilidade gaussiano.

H1 : A amostra não tem um padrão de distribuição de probabilidade gaussiano.

Observando-se na tabela os valores de *p-value* são maiores que 0,05, pode-se concluir que as amostras tem distribuição de probabilidade aderente ao modelo de distribuição gaussiana.

Logo abaixo na (TABELA 4) pode-se observar os resultados do teste Chi-Quadrado para o teste do valor do desvio padrão. Para um erro tipo I de 0,05 (5%) e um intervalo de confiança de 95%, as seguinte hipótese foram testadas:

Ho : A amostra tem um desvio padrão de 1,5.

H1 : A amostra não tem um desvio padrão de 1,5.

Novamente o valor de *p-value* é maior que 0,05 em todas as amostras, portanto pode-se dizer que há forte evidência estatística de que o desvio padrão das amostras se encontra dentro dos intervalos de confiança calculados para o desvio padrão de 1,5.

A verificação da normalidade do erro representado pela diferença entre o valor médio desejado e o obtido pode ser visualizado na (FIGURA 46). Neste caso as seguintes hipóteses foram submetidas ao teste K-S:

Ho: Os valores de erro seguem uma distribuição de probabilidade normal.

H1: Os valores de erro não seguem uma distribuição de probabilidade normal.

O valor de *p-value* para um erro tipo I de 5% é maior que 0,05 logo pode-se afirmar que a distribuição de probabilidade dos resíduos é gaussiana.

Confirmada a gaussianidade dos resíduos valida-se a aplicação do teste t-Student para os valores da média das amostras, e aplica-se as seguintes hipóteses:

Ho: O valor médio das médias das amostras é igual a 14.

H1: O valor médios das médias das amostras não é igual a 14.

O resultado (TABELA 5) demonstra que, sendo o *p-value* acima de 0,05 para todas as amostras, conclui-se que dentro de um intervalo de confiança de 95% e para um erro tipo I de 0,05 (5%) que a média das amostras é igual a 14.

Observa-se portanto que o código do software de simulação desenvolvido para modelar uma distribuição de probabilidade normal está gerando adequadamente distribuições gaussianas com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$

TABELA 3 – RESULTADOS DO TESTE K-S PARA F.D.P NORMAL

Teste de Normalidade de Kolmogorov					
Amostra	Semente	Media	Desv. Padrão	p-value	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
A1_S_2	2	14,26	1,60	0,72	NÃO
A2_S_18	18	14,04	1,55	0,20	NÃO
A3_S_55	55	14,01	1,41	0,54	NÃO
A4_S_178	178	14,46	1,41	0,86	NÃO
A5_S_89	89	13,82	1,31	0,17	NÃO
A6_S_456	456	14,28	1,49	0,27	NÃO
A7_S_77	77	13,86	1,49	0,86	NÃO
A8_S_338	338	13,56	1,52	0,89	NÃO
A9_S_26	26	14,09	1,27	0,80	NÃO
A10_S_531	531	14,08	1,41	0,30	NÃO

FONTE: O AUTOR

TABELA 4 – RESULTADOS DO TESTE CHI-QUADRADO PARA DESVIO-PADRÃO=1,5

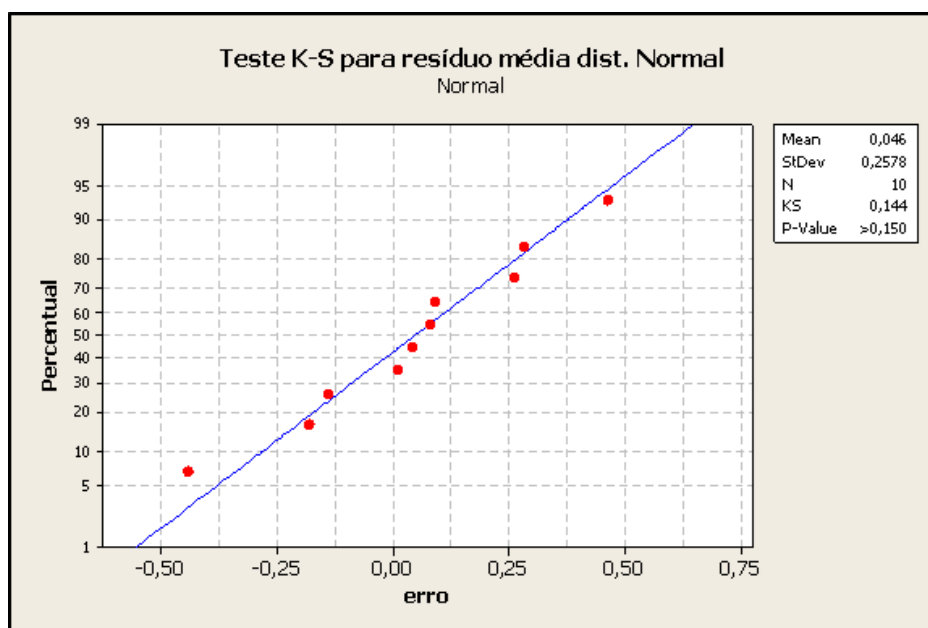
Teste Qui-Quadrado para o desvio padrão Ho dp = 1,5 (alfa=0,05 e n=10)						
Amostra	Semente	Media	Desv. Padrão	IC (95%)	p-value	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
A1_S_2	2	14,26	1,60	(1,34; 2,00)	0,46	NÃO
A2_S_18	18	14,04	1,55	(1,29; 1,93)	0,70	NÃO
A3_S_55	55	14,01	1,41	(1,18; 1,76)	0,62	NÃO
A4_S_178	178	14,46	1,41	(1,17; 1,75)	0,57	NÃO
A5_S_89	89	13,82	1,31	(1,09; 1,63)	0,21	NÃO
A6_S_456	456	14,28	1,49	(1,24; 1,86)	1,00	NÃO
A7_S_77	77	13,86	1,49	(1,24; 1,85)	0,98	NÃO
A8_S_338	338	13,56	1,52	(1,27; 1,89)	0,85	NÃO
A9_S_26	26	14,09	1,27	(1,06; 1,59)	0,14	NÃO
A10_S_531	531	14,08	1,41	(1,18; 1,75)	0,59	NÃO

FONTE: O AUTOR

TABELA 5 – RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA MEDIA=14

Teste t-Student para a média Ho u = 14 (alfa=0,05 e n=10)					
Amostra	Semente	Média	Erro	Estatística	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
A1_S_2	2	14,26	0,26	Media = 14,046 d.p = 0,2578 IC = (95%) (13,8616; 14,2304) Valor To = 0,56 Valor T = 2,26 p-value = 0,586	NÃO
A2_S_18	18	14,04	0,04		
A3_S_55	55	14,01	0,01		
A4_S_178	178	14,46	0,46		
A5_S_89	89	13,82	-0,18		
A6_S_456	456	14,28	0,28		
A7_S_77	77	13,86	-0,14		
A8_S_338	338	13,56	-0,44		
A9_S_26	26	14,09	0,09		
A10_S_531	531	14,08	0,08		

FONTE: O AUTOR

FIGURA 46 – TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DA MÉDIA DIST. NORMAL  
FONTE: O AUTOR

### *A Distribuição Exponencial*

A (TABELA 6) a seguir apresenta os valores médios e os desvios padrões para o grupo de dez amostras contendo cinquenta valores cada uma e o resultado do teste de K-S. Estas amostras foram obtidas pelo código do simulador responsável pela geração dos números aleatório com distribuição de probabilidade exponencial.

As sequências modelam uma distribuição com média 900. As hipóteses testadas aplicando-se o teste de K-S são as seguintes, para um erro tipo I de 0,05 (5%):

Ho : A amostra tem um padrão de distribuição de probabilidade exponencial.

H1: A amostra não tem um padrão de distribuição de probabilidade exponencial.

Observou-se que todos os valores de *p-value* são maiores que 0,05 logo pode-se concluir que as amostras possuem características aderentes à distribuição de probabilidade exponencial.

Uma vez validada a conformidade da distribuição de probabilidade à distribuição exponencial, tratou-se de validar a gaussianidade do erro representado pela diferença entre a média da amostra e a média desejada construindo-se as seguintes hipóteses e aplicando-se novamente o teste de K-S:

Ho: Os resíduos seguem uma distribuição gaussiana

H1: Os resíduos não seguem uma distribuição gaussiana.

A (FIGURA 47) apresenta o resultado do teste de K-S para a diferença entre os valores médios calculados das amostras e o valor médio esperado para um erro tipo I de 0,05 (5%).

Constatou-se que o valor de *p-value* é maior que 0,05, portanto o erro segue uma distribuição normal e o teste t-Student pode ser aplicado. Testa-se agora as seguintes hipóteses para um erro tipo I de 5% e intervalo de confiança de 95%:

Ho: O valor médio da distribuição exponencial é 900.

H1: O valor médio da distribuição exponencial não é 900.

A (TABELA 7) apresenta os resultados do teste t-Student, observou-se que o *p-value* é maior que 0,05, portanto pode-se concluir que a média das amostras é de 900 para um intervalo de confiança de 95% e erro tipo I de 0,05 (5%).

TABELA 6 – TESTE K-S PARA A DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL

Teste de Kolmogorov-Smirnov para f.d.p. exponencial com u=900 (alfa=0,05 e n=10)					
Amostra	Semente	Media	Desv. Padrão	p-value	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
Ae1_S_2	2	960,75	913,67	0,54	NÃO
Ae2_S_18	18	968,04	810,24	0,12	NÃO
Ae3_S_55	55	848,62	649,37	0,499	NÃO
Ae4_S_178	178	1093,90	993,69	0,11	NÃO
Ae5_S_303	303	899,73	788,22	0,52	NÃO
Ae6_S_112	112	715,85	669,93	0,29	NÃO
Ae7_S_27	27	942,45	880,21	0,66	NÃO
Ae8_S_166	166	1022,55	1005,62	0,26	NÃO
Ae9_S_446	446	1018,03	853,17	0,17	NÃO
Ae10_S_101	101	900,75	827,01	0,89	NÃO

FONTE: O AUTOR

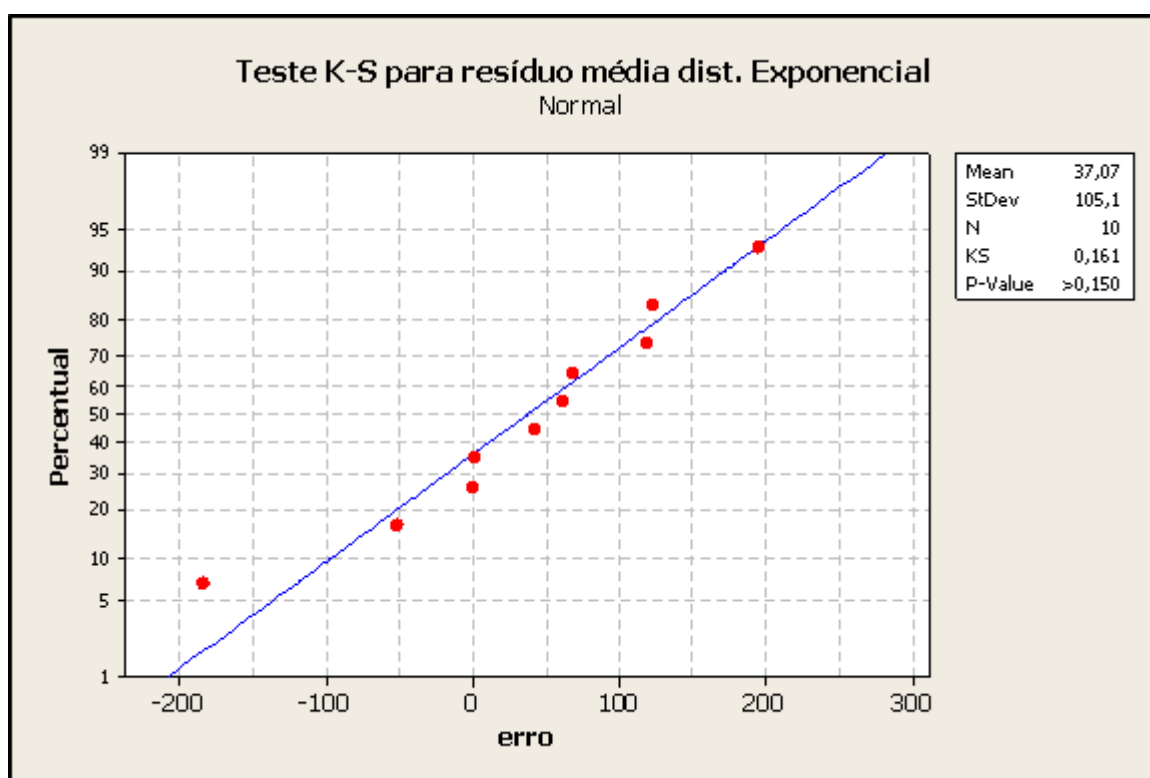
FIGURA 47 – TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DA MÉDIA F.D.P. EXPONENCIAL  
FONTE: O AUTOR

TABELA 7 – RESULTADOS DO TESTE t-STUDENT PARA MEDIA=900

Teste t-Student para a media Ho u =900 (alfa=0,05 e n=10)					
Amostra	Semente	Média	Erro	Estatística	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
Ae1_S_2	2	960,75	60,75	Media = 937,1 d.p = 105,2 IC = (95%) (861,9; 1012,4) Valor To = 1,12 Valor T = 2,26 p-value = 0,293	NÃO
Ae2_S_18	18	968,04	68,04		
Ae3_S_55	55	848,62	-51,38		
Ae4_S_178	178	1093,90	193,90		
Ae5_S_303	303	899,73	-0,27		
Ae6_S_112	112	715,85	-184,15		
Ae7_S_27	27	942,45	42,45		
Ae8_S_166	166	1022,55	122,55		
Ae9_S_446	446	1018,03	118,03		
Ae10_S_101	101	900,75	0,75		

FONTE: O AUTOR

Pode-se afirmar que, baseado no resultado dos testes estatísticos e para um erro tipo I de 5%, o código implementado para gerar de forma aleatória números com uma distribuição de probabilidade exponencial com média  $1/\lambda$  está funcionando adequadamente.

### *A Distribuição Triangular*

A (TABELA 8) a seguir apresenta os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  e o resultado para o teste de K-S de um grupo de dez amostras contendo cinquenta valores cada uma, obtidos do código do simulador responsável pela geração de números aleatórios com distribuição de probabilidade triangular.

As sequências simulam uma distribuição com parâmetros  $a=6$ ,  $b=11$  e  $c=14$ . As hipóteses foram testadas aplicando-se o teste de K-S e são as seguintes, para um erro tipo I de 0,05 (5%):

Ho: A amostra tem uma distribuição de probabilidade triangular.

H1: A amostra não tem uma distribuição de probabilidade triangular.

Concluiu-se que uma vez que todas as amostras apresentaram  $p$ -value maior que 0,05 para o teste de K-S, não é possível rejeitar a hipótese Ho.

As (FIGURA 48), (FIGURA 49) e (FIGURA 50) apresentam o teste de K-S para as hipóteses aplicadas para os parâmetros  $a$ ,  $b$ , e  $c$  respectivamente:

Ho: Os resíduos seguem uma distribuição gaussiana.

H1: Os resíduos não seguem uma distribuição gaussiana.

Observou-se, para um erro tipo I de 5%, que os valores de *p-value* para os resíduos dos parâmetros *a*, *b*, e *c* apresentam distribuição gaussiana, logo é possível aplicar-se o teste t-Student para testar o valor médio. As (TABELA 9), (TABELA 10), (TABELA 11) logo a seguir apresentam os resultados do teste t-Student para as seguintes hipóteses, respectivamente:

Ho: O valor médio do parâmetro *a* é 6.

H1: O valor médio do parâmetro *a* não é 6.

Ho: O valor médio do parâmetro *b* é 11.

H1: O valor médio do parâmetro *b* não é 11.

Ho: O valor médio do parâmetro *c* é 14.

H1: O valor médio do parâmetro *c* não é 14.

Pode-se afirmar que, baseado no resultado dos testes estatísticos e para um erro tipo I de 0,05 (5%), o código implementado para gerar de forma aleatória números com uma distribuição de probabilidade aproximadamente triangular com parâmetros *a*, *b* e *c* está funcionando adequadamente.

TABELA 8 – TESTE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA A DISTRIBUIÇÃO TRIANGULAR

Teste de Kolmogorov-Smirnov para f.d.p. triangular (a=6, b=11 e c=14 )									
Amostra	Semente	a	Erro	b	Erro	c	Erro	p-value	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
TRS2	2	5,90	-0,10	11,43	0,43	14,12	0,12	0,37	NÃO
TRS456	456	5,94	-0,06	10,77	-0,23	13,37	-0,63	0,99	NÃO
TRS768	768	6,13	0,13	10,83	-0,17	14,05	0,05	0,84	NÃO
TRS613	613	6,41	0,41	10,55	-0,45	13,99	-0,01	0,76	NÃO
TRS700	700	6,75	0,75	10,95	-0,05	14,09	0,09	0,77	NÃO
TRS63	63	5,57	-0,43	11,00	0,00	13,75	-0,25	0,62	NÃO
TRS111	111	7,21	1,21	9,59	-1,41	13,90	-0,10	0,95	NÃO
TRS512	512	6,23	0,23	11,02	0,02	13,88	-0,12	0,83	NÃO
TRS919	919	5,75	-0,25	11,32	0,32	13,68	-0,32	0,82	NÃO
TRS5	5	6,48	0,48	10,30	-0,70	14,25	0,25	1,00	NÃO

FONTE: O AUTOR

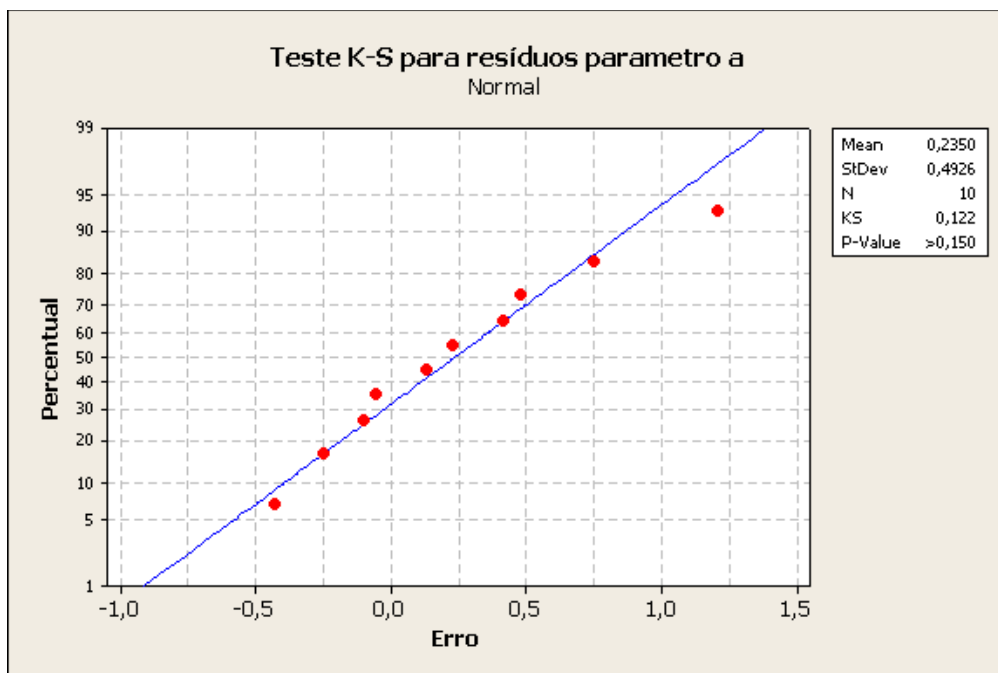


FIGURA 48 – TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DO PAR. *a* F.D.P. TRIANGULAR  
FONTE: O AUTOR

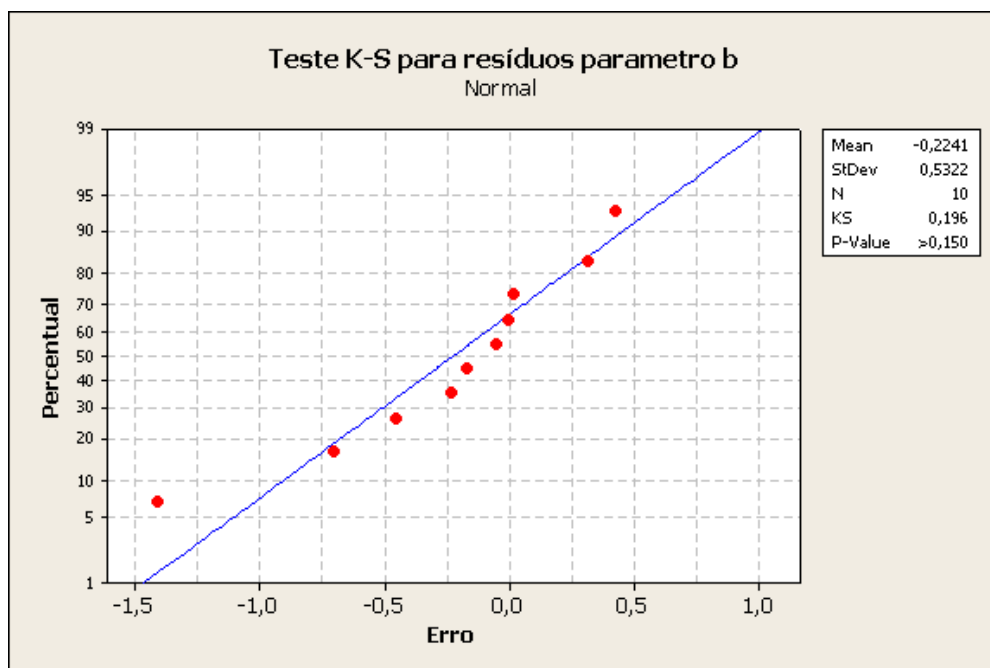


FIGURA 49 – TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DO PAR. *b* F.D.P. TRIANGULAR  
FONTE: O AUTOR



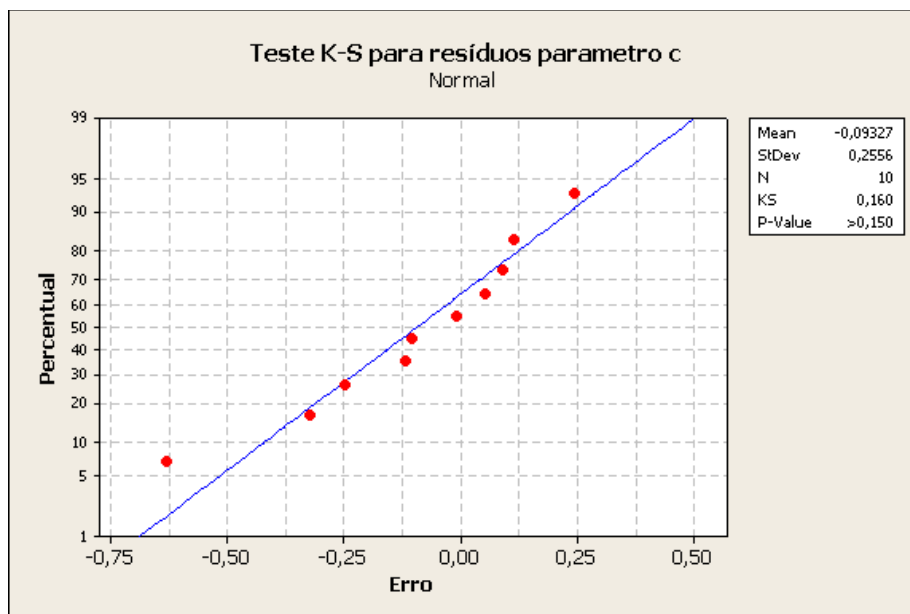


FIGURA 50 – TESTE DE K-S PARA O RESÍDUO DO PAR.  $c$  F.D.P. TRIANGULAR  
FONTE: O AUTOR

TABELA 9 – RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA PAR.  $a=6$

Teste t-Student para a media Ho $a=6$ (alfa=0,05 e n=10)				
Amostra	Semente	a	Estatística	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
TRS2	2	5,90		
TRS456	456	5,94		
TRS768	768	6,13	Média = 6,235	
TRS613	613	6,41	d.p = 0,492	
TRS700	700	6,75	IC = (5,883; 6,588)	
TRS63	63	5,57	Valor To = 1,51	NÃO
TRS111	111	7,21	Valor T = 2,26	
TRS512	512	6,23	p-value = 0,165	
TRS919	919	5,75		
TRS5	5	6,48		

FONTE: O AUTOR

TABELA 10 – RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA PAR.  $b=11$

Teste t-Student para a media Ho $b=11$ (alfa=0,05 e n=10)				
Amostra	Semente	b	Estatística	Rejeita Ho (p-value < 0,05)
TRS2	2	11,43		
TRS456	456	10,77		
TRS768	768	10,83	Média = 10,776	
TRS613	613	10,55	d.p = 0,532	
TRS700	700	10,95	IC = (10,395; 11,175)	
TRS63	63	11,00	Valor To = -1,33	NÃO
TRS111	111	9,59	Valor T = 2,26	
TRS512	512	11,02	p-value = 0,216	
TRS919	919	11,32		
TRS5	5	10,30		

FONTE: O AUTOR

TABELA 11 – RESULTADOS DO TESTE T-STUDENT PARA PAR.  $c=14$ 

Teste t-Student para a media $H_0: c=14$ (alfa=0,05 e n=10)				
Amostra	Semente	c	Estatística	Rejeita $H_0$ (p-value < 0,05)
TRS2	2	14,12		
TRS456	456	13,37	Média = 13,9067	
TRS768	768	14,05	d.p = 0,2556	
TRS613	613	13,99	IC = (13,7239; 14,0896)	
TRS700	700	14,09	Valor To = -1,15	NÃO
TRS63	63	13,75	Valor T = 2,26	
TRS111	111	13,90	p-value = 0,278	
TRS512	512	13,88		
TRS919	919	13,68		
TRS5	5	14,25		

FONTE: O AUTOR

### *A Distribuição Uniforme*

O código responsável pela geração de números randômicos é responsável pela aleatoriedade das funções de distribuição gaussiana, exponencial e triangular, tornou-se necessário validar a geração das sequências numéricas que apresentam uma distribuição aleatória.

Gerou-se por meio da rotina do software de simulação responsável pelas sequências numéricas aleatórias dez amostras de mil números (N) com valor mínimo de 1 e valor máximo de 50 (r).

A (TABELA 12) apresenta o resultados dos testes, pode-se verificar que os valores encontrados para Chi-Quadrado se encontram dentro do intervalo  $|\chi^2 - r| \leq 2\sqrt{r}$ , portanto pode-se considerar que as sequências geradas pelo algoritmo de simulação são randômicas.

TABELA 12 – TESTE CHI-QUADRADO PARA DISTRIBUIÇÃO UNIFORME

<b>Teste Chi-Quadrado para Sequência ramdomica</b> <b>1000xRAND[1,50]</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Semente</b>	<b>Valor Chi-Quadrado</b>	<b><math> [\chi]^2 - r  \leq 2\sqrt{r}</math></b>
U2	2	57,50	SIM
U112	112	40,00	SIM
U34	34	41,60	SIM
U987	987	41,00	SIM
U432	432	59,80	SIM
U123	123	60,20	SIM
U1222	1222	58,40	SIM
U567	567	52,20	SIM
U399	399	54,90	SIM
U654	654	57,70	SIM

FONTE: O AUTOR

## APÊNDICE D

### RESULTADO DOS TESTES DE VALIDAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DO ALGORÍTMO DE SIMULAÇÃO

#### *Validação dos Parâmetros das Políticas de Gestão de Estoque*

Apresentam-se os resultados obtidos da validação da rotina do algoritmo de simulação que calcula os parâmetros das políticas de gestão de estoque por revisão contínua e revisão periódica.

#### *Lote Econômico (LEC) ou Ponto Ótimo do Pedido ( $Q^*$ )*

Na página dois do arquivo CENARIO01L0.pdf pode-se observar os valores iniciais utilizados como ponto de partida da simulação, conforme explicado no Cap. 3, computou-se os valores de demanda de quatro semanas para o cálculo dos parâmetros das políticas de estoque antes de iniciar-se a simulação.

Os valores estão visualizados na (TABELA 13) a seguir e estão de acordo com a equação (2.1.3). A pequena diferença encontrada entre o valor calculado e o esperado para alguns valores pode ser explicada pelo fato do cálculo do valor de  $Q^*$  ser realizado sem arredondamento para o próximo número inteiro.

Por exemplo a demanda da loja “SANTAFELIC” pode ser qualquer número entre 292 e 293, o que resultaria em valores para  $Q^*$  entre 2934 e 2939 respectivamente. Apesar do simulador armazenar o número inteiro imediatamente mais próximo (no caso do exemplo, o número 293), para o cálculo de  $Q^*$  utiliza-se o valor não truncado e então se arredonda o valor final de  $Q^*$ .

A rotina de cálculo do valor de  $Q^*$  é idêntica para todas as entidades do simulador, portanto conclui-se que, dada as entradas de custo total, custo de aquisição, taxa de manutenção de estoque e previsão de demanda, o software de simulação está calculando corretamente o valor de  $Q^*$ .

Para as entidades Fábrica, é importante destacar que o cálculo de  $Q^*$  não se aplica, uma vez que sua capacidade foi especificada como infinita.

TABELA 13 – VALOR DO  $Q^*$  (DESEJADO X CALCULADO)

Valores de $Q^*$ Esperado x Calculado						
Entidade	D (Unds./sem)	S (Reais)	I (Anual)	C (Reais)	$Q^*$ Esperado (Unds.)	$Q^*$ Calculado (Unds.)
PILARZINHO	1141	49,00	0,18	2,50	3595	3595
BIGORRILHO	366	34,00	0,21	1,50	2027	2027
SANTAFELIC	293	34,00	0,08	1,50	2939	2936
BACACHERI	179	34,00	0,18	1,50	1532	1529
AGUVERDE	1236	34,00	0,18	1,50	4024	4023
FAZENDINHA	1093	34,00	0,18	1,50	3784	3784
SANTACAND	806	34,00	0,18	1,50	3249	3249
CURITIBA	2555	98,00	0,18	1,10	11469	11468
FLORIANOPL	2555	46,00	0,18	1,20	7523	7522
SAO PAULO	*	*	*	*	*	*
CAMPINAS	*	*	*	*	*	*

FONTE: O AUTOR

### *Ponto de Ressuprimento (ROP) Para Controle de Estoque Por Revisão Contínua*

O cálculo do ROP pode assumir valores diferentes, dependendo se a política de estoque considera a variância do *lead time* ou somente o seu valor médio para o cálculo do estoque de segurança.

No cenário teste assumiu-se as duas condições. Para as entidades Loja “SANTAFELIC” e “PILARZINHO” configurou-se a política de ressuprimento para considerar apenas o valor médio do LT, portanto a equação (2.1.6) deve ser verificada.

No caso das entidades Loja “BACACHERI” e “BIGORRILHO” o estoque de segurança leva em consideração também a variância do LT, logo o segundo termo da equação (2.1.6) deve ser substituída pela equação (2.1.7). O valor equivalente de  $z$  para o nível de serviço configurado está descrito na (TABELA 1).

Observa-se na (TABELA 14) abaixo os valores calculados corretamente para o ROP de todas as entidades com política de estoque configuradas para revisão contínua, conforme relatório de *log* apresentado nas páginas 1 e 2 do arquivo CENARIO01L0.pdf.

Pode-se notar que algumas entidades apresentam dois valores para o ROP, pois são entidades configuradas para selecionar o fornecedor pelo menor nível de ressuprimento, o ROP para essas entidades não é apenas um valor mas uma lista de valores.

O RMSE calculado na primeira iteração do *software* de simulação é o desvio padrão da demanda média das quatro semanas anteriores à simulação.

Para as entidades Fabrica, o cálculo do ROP não se aplica, uma vez que sua capacidade foi especificada como infinita.

As pequenas diferenças entre o valor esperado e o calculado deve-se ao arredondamento explicado no item anterior.

As demandas das entidades Centro de Distribuição e conforme especificado no Cap. 3, foram inicialmente estimadas somando-se a demanda de todas as lojas, e dividindo-se a soma pelo número de centros de distribuição mês a mês. Pode-se verificar o valor no campo “Nova previsão” descrito na pág. 2 do *log* do arquivo CENARIO01L0.pdf.

TABELA 14 – VALOR DO ROP\* (DESEJADO X CALCULADO)

ROP Esperado x Calculado								
Entidade	D (Unds./sem)	Nível Serviço (%)	RMSE D (Unds./sem)	LT (dias)	d.p. LT (dias)	Equação	ROP Esperado (Unds.)	ROP Calculado (Unds.)
PILARZINHO	1141	90%	492,03	14,00	*	2.1.6	3180	3181
BIGORRILHO	366	93%	157,61	12,00	3,50	2.1.7	1036	1036
SANTAFELIC	293	90%	35,52	12,00	*	2.1.6	563	562
				14,00	*		651	650
BACACHERI	179	90%	38,75	14,00	1,00	2.17	437	435
				12,00	3,50		440	439
AGUVERDE	*	*	*	*	*	*	*	*
FAZENDINHA	*		*	*	*	*	*	*
SANTACAND	806	90%	68,64	12,00	*	2.16	14985	1498
				14,00	*		1738	1737
CURITIBA	2555	90%	211,04	14,00	*	2.1.6	5496	5495
				14,00	*		5496	5495
FLORIANOPL	*	*	*	*	*	*	*	*
SAO PAULO	*	*	*	*	*	*	*	*
CAMPINAS	*	*	*	*	*	*	*	*

FONTE: O AUTOR

*Tempo de Ressuprimento  $T^*$  Para Controle de Estoque Por Revisão Periódica*

O tempo de ressuprimento  $T^*$  é dado pela equação (2.1.8) e seu cálculo pode ser observado na página 02 do arquivo CENARIO01L0.pdf e a comparação do valor desejado com o valor calculado está descrito na (TABELA 15), as entidades marcadas com “\*” são entidades do tipo Fabrica ou são entidades cujo controle de estoque é por revisão contínua.

Os valores são sempre ajustados para o maior valor inteiro imediatamente superior ao valor calculado.

TABELA 15 – VALOR DE  $T^*$  (DESEJADO X CALCULADO)

Valores de $T^*$ Esperado x Calculado				
Entidade	D (Unds./s em	$Q^*$ (Unids.)	$T^*$ Esperado (dias)	$T^*$ Calculad o (dias)
PILARZINHO	*	*	*	*
BIGORRILHO	*	*	*	*
SANTAFELIC	*	*	*	*
BACACHERI	*	*	*	*
AGUAVERDE	1236	4023	22,78398	23
FAZENDINHA	1093	3784	24,23422	25
SANTACAND	*	*	*	*
CURITIBA	*	*	*	*
FLORIANOPL	2555	7522	20,60822	21
SAO PAULO	*	*	*	*
CAMPINAS	*	*	*	*

FONTE: O AUTOR

*Nível Máximo de Estoque ( $M^*$ )*

Observa-se na (TABELA 16) os valores calculados e desejados de  $M^*$ , de acordo com as configurações estabelecidas para o cenário de teste para as entidades com controle de revisão periódica. As entidades marcadas com “\*” são entidades do tipo Fábrica ou são entidades cujo controle de estoque é por revisão contínua.

O cálculo de  $M^*$  levando-se em consideração somente a valor médio do LT está descrito pelas equações (2.1.9) e (2.1.0), se for considerado a variância do LT,

o cálculo é dado pelas equações (2.1.9) e (2.1.10). O valor equivalente de  $z$  para o nível de serviço configurado está descrito na (TABELA 1).

Novamente o arredondamento de valores apresenta uma pequena discrepância entre os valores calculados e o desejado.

TABELA 16 – VALOR DE  $M^*$  (DESEJADO X CALCULADO)

M* Esperado x Calculado									
Entidade	D (Unds./sem)	Nível Serviço (%)	RMSE (Unds./sem)	T* (dias)	LT (dias)	d.p. LT (dias)	Equação	M* Esperado (dias)	M* Calculado (dias)
PILARZINHO	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BIGORRILHO	*	*	*	*	*	*	*	*	*
SANTAFELIC	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BACACHERI	*	*	*	*	*	*	*	*	*
AGUAVERDE	1236	90%	113,83	23	14	*	2.1.9/2.1.10	6832	6832
FAZENDINHA	1093	90%	91,54	25	12,00	3,50	2.1.9/2.1.11	6412	6413
SANTACAND	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CURITIBA	*	*	*	*	*	*	*	*	*
FLORIANOPL	2555	94%	211,04	21	14,00	3,00	2.1.9/2.1.11	14480	14478
SAO PAULO	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CAMPINAS	*	*	*	*	*	*	*	*	*

FONTE: O AUTOR

### *Técnicas de Previsão de Demanda.*

Apresenta-se neste item os resultados apresentados pelo algoritmo do software de simulação submetido a diferentes configurações de previsão de demanda.

#### *Médias Móveis*

A verificação correta do funcionamento do algoritmo de médias móveis foi realizada observando-se o comportamento da demanda para a loja “PILARZINHO”.

De acordo com a página um do arquivo CENARIO01L0.pdf, esta loja possui configurado médias móveis utilizando-se as últimas cinco períodos de demanda realizada. Neste caso a equação (2.1.13) será escrita da seguinte forma :



$$L_t = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5} \quad (4.1)$$

A (FIGURA 51) descreve as legendas utilizadas pelo relatório de *log* para as chegadas de clientes em uma entidade Loja, destacando-se neste momento o campo “QT. A SER COMPRADA”, que representa o valor de demanda instantânea. Descreve-se abaixo na (TABELA 17) o registro da demanda diária da loja “PILARZINHO” para o primeiro dia de simulação, os valores foram obtidos a partir da compilação dos *logs* de chegada de clientes impressos nas páginas três, quatro e cinco do arquivo CENARIO01L0.pdf ao longo de todo o dia. A demanda total do primeiro dia portanto, somando-se todas as linhas da tabela, foi de 460 unidades de unidades.

ENTIDADE	HORARIO	QT. A SER COMPRADA	EST. FÍSICO	EST. TRANSITO	VALOR ROP	FORNECED.	STATUS EF. FORNEC.
[SANTAFELIC]	H[10:28:24]	Q[ 6]	EF[ 1874]	ET[ 0]	ROP(+) [ 562]	F[FLORIANOPL]	-> EF(+)
[AGUVERDE ]	H[10:29:25]	Q[ 6]	EF[ 6117]	ET[ 0]			
[FAZENDINHA]	H[10:29:25]	Q[ 5]	EF[ 5787]	ET[ 0]			
[SANTACAND ]	H[10:29:25]	Q[ 4]	EF[ 1817]	ET[ 0]	ROP(+) [ 1498]	F[FLORIANOPL]	-> EF(+)
[AGUVERDE ]	H[10:31:54]	Q[ 4]	EF[ 6113]	ET[ 0]			
[FAZENDINHA]	H[10:31:54]	Q[ 4]	EF[ 5783]	ET[ 0]			
[SANTACAND ]	H[10:31:54]	Q[ 3]	EF[ 1814]	ET[ 0]	ROP(+) [ 1498]	F[FLORIANOPL]	-> EF(+)
[PILARZINHO]	H[10:33:33]	Q[ 12]	EF[ 71]	ET[ 3595]	ROP(+) [ 3181]	F[CURITIBA ]	-> EF(-)/1
ROP(+) : POS. ESTOQUE LOJA > LIMAR ROP				EF(+) : FORN. TEM EST. FÍSICO PARA ATENDER PEDIDO			
ROP(-) : POS. ESTOQUE LOJA <= LIMAR ROP				EF(-) : FORN. NÃO TEM EST. FÍSICO PARA ATENDER PEDIDO			
EM BRANCO: REVISÃO PERIÓDICA				/1 : ORDEM FORNECEDOR PELO MENOR ROP			

FIGURA 51 – LEGENDA PARA OS EVENTOS CHEGADA CLIENTES NAS ENTIDADES LOJA  
FONTE: O AUTOR

Validado o algoritmo que processa as vendas diárias, a próxima (TABELA 18) mostra o sumário da demanda diária da loja “PILARZINHO” para os próximos trinta e quatro dias de simulação.

Os valores foram coletados utilizando-se o mesmo procedimento utilizado para o primeiro dia, somando-se a demanda diária da loja a partir do segundo dia na páginas cinco até a o trigésimo quarto dia na página oitenta e nove do arquivo CENARIO01L0.pdf.

O número de amostras necessárias para cálculo da previsão estará disponível após cinco semana de simulação, nas semanas anteriores o valor inicial estimado será repetido.

Na (FIGURA 52) pode-se visualizar os registros obtidos do arquivo de *log* indicando as previsões para as seis primeiras semanas de simulação e as páginas onde esta informação está impressa no arquivo CENARIO01L0.pdf.

Para a sexta semana o valor será a média relativa a demanda realizada nas cinco semanas anteriores apresentadas na (TABELA 18), cujo valor é 3897 Unds.

Pode-se verificar na página 109 do arquivo CENARIO01L0.pdf que o algoritmo igualmente descarta a amostra mais antiga a medida que novos valores de demanda semanal são contabilizados.

Dessa maneira, a previsão de demanda para a sétima semana é de 4148 Unds., resultado obtida pelo cálculo da média sem o valor realizado de demanda da semana 1 (3339 Unds.), substituído pelo valor realizado de demanda da semana 6 (4592 Unds.).

Portanto pode-se perceber que o algoritmo de médias móveis corretamente calculou a previsão de demanda de acordo com a equação (4.1).

Utilizou-se o arquivo de log CENARIO01L1.pdf para computar os resultados das próximas validações, que foi gerado mudando-se o nível de log de “L0” para “L1” (veja FIGURA 23) e executando novamente a simulação.

Conforme explicado no Cap. 3 esta modalidade de *log* sumariza as vendas minuto a minuto das entidades lojas em vendas diárias, condensando o número de informações impressas pelo software de simulação.

Pode se observar que os resultados de venda diária encontrada na página cinco do arquivo CENARIO01L1.pdf para o primeiro dia de simulação é idêntico a soma dos valores da (TABELA 17).

TABELA 17 – CLIENTES LOJA “PILARZINHO” DIA 1 DE SIMULAÇÃO (CONTINUA)

Loja PILARZINHO								
Demanda no primeiro dia de simulação								
Horário	Qtidade	Est.Físico	Horário	Qtidade	Est.Físico	Horário	Qtidade	Est.Físico
H[08:31:57]	Q[ 10]	EF[ 1990]	H[10:24:40]	Q[ 11]	EF[ 1829]	H[13:58:27]	Q[ 10]	EF[ 1677]
H[08:59:55]	Q[ 10]	EF[ 1980]	H[10:36:56]	Q[ 10]	EF[ 1819]	H[14:01:25]	Q[ 9]	EF[ 1668]
H[09:10:51]	Q[ 10]	EF[ 1970]	H[10:50:00]	Q[ 12]	EF[ 1807]	H[14:08:15]	Q[ 11]	EF[ 1657]
H[09:15:10]	Q[ 11]	EF[ 1959]	H[11:01:00]	Q[ 12]	EF[ 1795]	H[14:18:28]	Q[ 10]	EF[ 1647]
H[09:15:34]	Q[ 11]	EF[ 1948]	H[11:01:46]	Q[ 9]	EF[ 1786]	H[14:23:27]	Q[ 11]	EF[ 1636]
H[09:15:50]	Q[ 10]	EF[ 1938]	H[11:16:58]	Q[ 9]	EF[ 1777]	H[14:33:29]	Q[ 11]	EF[ 1625]
H[09:24:47]	Q[ 11]	EF[ 1927]	H[11:25:10]	Q[ 11]	EF[ 1766]	H[14:42:42]	Q[ 11]	EF[ 1614]

FONTE: O AUTOR

TABELA 17 – CLIENTES LOJA “PILARZINHO” DIA 1 DE SIMULAÇÃO (CONTINUAÇÃO)

Loja PILARZINHO								
Horário	Qtidade	Est.Físico	Horário	Qtidade	Est.Físico	Horário	Qtidade	Est.Físico
H[09:31:59]	Q[ 10]	EF[ 1917]	H[11:42:09]	Q[ 10]	EF[ 1756]	H[15:12:38]	Q[ 10]	EF[ 1604]
H[09:54:17]	Q[ 12]	EF[ 1905]	H[11:43:09]	Q[ 8]	EF[ 1748]	H[15:19:52]	Q[ 11]	EF[ 1593]
H[09:54:27]	Q[ 13]	EF[ 1892]	H[11:54:46]	Q[ 10]	EF[ 1738]	H[15:21:24]	Q[ 11]	EF[ 1582]
H[10:05:38]	Q[ 10]	EF[ 1882]	H[12:34:54]	Q[ 9]	EF[ 1729]	H[15:39:58]	Q[ 11]	EF[ 1571]
H[10:11:13]	Q[ 13]	EF[ 1869]	H[12:47:17]	Q[ 7]	EF[ 1722]	H[15:42:48]	Q[ 9]	EF[ 1562]
H[10:11:20]	Q[ 8]	EF[ 1861]	H[13:03:07]	Q[ 12]	EF[ 1710]	H[15:52:43]	Q[ 12]	EF[ 1550]
H[10:18:06]	Q[ 12]	EF[ 1849]	H[13:12:13]	Q[ 12]	EF[ 1698]	H[15:59:06]	Q[ 10]	EF[ 1540]
H[10:20:57]	Q[ 9]	EF[ 1840]	H[13:33:19]	Q[ 11]	EF[ 1687]			

FONTE: O AUTOR

TABELA 18 – DEMANDA DIÁRIA LOJA “PILARZINHO” DIAS 01...35 DE SIMULAÇÃO

Demanda Diária Loja PILARZINHO								
Dias 1...35 de Simulação								
Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.
1	460		8	622		15	629	
2	520		9	430		16	463	
3	390		10	550		17	525	
4	351	3339	11	481	3612	18	656	3914
5	519		12	476		19	587	
6	569		13	529		20	471	
7	530		14	524		21	583	
Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.			
22	550		29	573				
23	543		30	687				
24	591		31	721				
25	546	4020	32	651	4601			
26	684		33	560				
27	484		34	710				
28	622		35	699				

FONTE: O AUTOR

[PILARZINHO] Nova previsao : [ 1141] Unds/sem RMSE : [2197,75] Unds. [PILARZINHO] Ponto Otimo Pedido (Q*) : [ 3595] Unds. [PILARZINHO] R.O.P. : [ 6596] Unds. LT: [ 15,00] dias [CURITIBA ]	PREV. SEM. 2 REAL. SEM. 1 Pág. 19
[PILARZINHO] Nova previsao : [ 1141] Unds/sem RMSE : [2338,24] Unds. [PILARZINHO] Ponto Otimo Pedido (Q*) : [ 3595] Unds. [PILARZINHO] R.O.P. : [ 6861] Unds. LT: [ 15,00] dias [CURITIBA ]	PREV. SEM. 3 REAL. SEM. 2 Pág. 36
[PILARZINHO] Nova previsao : [ 1141] Unds/sem RMSE : [2491,51] Unds. [PILARZINHO] Ponto Otimo Pedido (Q*) : [ 3595] Unds. [PILARZINHO] R.O.P. : [ 6990] Unds. LT: [ 14,50] dias [CURITIBA ]	PREV. SEM. 4 REAL. SEM. 3 Pág. 54
[PILARZINHO] Nova previsao : [ 1141] Unds/sem RMSE : [2593,75] Unds. [PILARZINHO] Ponto Otimo Pedido (Q*) : [ 3595] Unds. [PILARZINHO] R.O.P. : [ 7180] Unds. LT: [ 14,50] dias [CURITIBA ]	PREV. SEM. 5 REAL. SEM. 4 Pág. 70
[PILARZINHO] Nova previsao : [ 3897] Unds/sem RMSE : [2788,55] Unds. [PILARZINHO] Ponto Otimo Pedido (Q*) : [ 6644] Unds. [PILARZINHO] R.O.P. : [ 13128] Unds. LT: [ 14,33] dias [CURITIBA ]	PREV. SEM. 6 REAL. SEM. 5 Pág. 89

FIGURA 52 – PREVISÕES DE DEMANDA SEMANAS 2...6 LOJA “PILARZINHO”

FONTE: O AUTOR

### *Amortecimento Exponencial Simples*

Utilizou-se a loja “BACACHERI” para verificar o comportamento do algoritmo de previsão do software de simulação quando a entidade está configurada para utilizar a técnica de amortecimento exponencial simples. O parâmetro  $\alpha$  da equação (2.1.16) é 0,35, logo:

$$L_{t+1} = 0,35D_{t+1} + (1 - 0,35)L_t \quad (4.2)$$

A (TABELA 19) apresenta os valores de previsão de demanda das primeiras 5 semanas de simulação, e os valores de demanda calculados pela equação (2.1.16). O procedimento para contabilizar a demanda diária é o mesmo utilizado para a técnica de previsão de médias móveis. O registro de toda a demanda que ocorreu nas primeira cinco semanas de simulação podem ser encontrados no arquivo CENARIO01L1.pdf,

A (TABELA 20) apresenta os valores calculados e valores desejado para a previsão, destacando-se que o valor inicial de previsão de demanda ( $L_0$ ) é o valor médio calculado para a demanda no período de quatro semanas pré-simulação.

As páginas informadas na (TABELA 19) indicando onde a informação de previsão está impressa são referentes ao arquivo CENARIO01L0.pdf, ao passo que os valores de demanda diária foram extraídos do arquivo CENARIO01L1.pdf.

Observa-se que o algoritmo de simulação calculou corretamente o valor da previsão de acordo com a equação (4.2).

TABELA 19 – DEMANDA DIÁRIA LOJA “BACACHERI” DIAS 01...35 DE SIMULAÇÃO  
(CONTINUA)

Dia Sim.	Demanda Diaria	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diaria	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diaria	Dem. Sem.
1	31		8	15		15	9	
2	26		9	31		16	46	
3	22		10	12		17	50	
4	20	163	11	14	143	18	19	213
5	21		12	15		19	26	
6	11		13	17		20	27	
7	32		14	39		21	36	

FONTE: O AUTOR

TABELA 19 – DEMANDA DIÁRIA LOJA “BACACHERI” DIAS 01...35 DE SIMULAÇÃO  
(CONTINUAÇÃO)

Dia Sim.	Demanda Diaria	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diaria	Dem. Sem.
22	28		29	27	
23	24		30	23	
24	37		31	28	
25	27	194	32	46	216
26	34		33	40	
27	25		34	28	
28	19		35	24	

FONTE: O AUTOR

TABELA 20 – PREVISÃO CALCULADA PARA LOJA “BACACHERI” (AMORTECIM. EXP. SIMPLES)

Amortecimento Exponencial Simples loja BACACHERI Calculado x Esperado (alfa=0,35)					
Semana	Dt+1 (Unds.)	Lt (Unds)	Lt+1 Esperado (Unds.)	Lt+1 Calculado (Unds.)	Pág.
1	163	179	173,40	173	19
2	143	173	162,76	163	36
3	213	163	180,34	180	54
4	194	180	185,12	185	70
5	216	186	195,93	196	89

FONTE: O AUTOR

### *Amortecimento Exponencial Duplo*

Utilizou-se a loja “BIGORRILHO” para verificar o comportamento do algoritmo de previsão do software de simulação quando a entidade está configurada para utilizar a técnica de amortecimento exponencial simples. O parâmetro  $\alpha$  e  $\beta$  das equações (2.1.18) e (2.1.19) são 0,60 e 0,50 respectivamente, logo:

$$L_{t+1} = 0,60D_{t+1} + (1 - 0,60)(L_t + T_t) \quad (4.3)$$

$$T_{t+1} = 0,50(L_{t+1} - L_t) + (1 - 0,50)T_t \quad (4.4)$$

$$F_{t+n} = L_t + nT_t \quad (4.5)$$

A (TABELA 21) apresenta os valores de previsão de demanda da loja “BIGORRILHO” nas primeiras 5 semanas de simulação, e os valores de demanda calculados pelas equações (2.1.17) (2.1.18) e (2.1.19).

O procedimento para contabilizar a demanda diária é o mesmo utilizado para a técnica de previsão de médias móveis. Os registros de toda a demanda que ocorreu nas primeira cinco semanas de simulação podem ser encontrados nas páginas três à página oitenta e nove do arquivo CENARIO01L0.pdf.

A (TABELA 22) apresenta os valores calculados e valores desejado para a previsão, destacando-se que o valor inicial de previsão de demanda ( $L_0$ ) é o valor médio calculado para a demanda no período de quatro semanas pré-simulação. O valor da tendência ( $T_0$ ) para a primeira previsão é zero.

As páginas informadas na (TABELA 21) onde a informação de previsão está impressa são referentes ao arquivo CENARIO01L0.pdf, ao passo que os valores de demanda diária foram extraídos do arquivo CENARIO01L1.pdf.

Observa-se que o algoritmo de simulação calculou o valor da previsão de acordo com as equações (4.3), (4.4) e (4.5).

TABELA 21 – DEMANDA DIÁRIA LOJA “BIGORRILHO” DIAS 01...35 DE SIMULAÇÃO

Demanda Diária Loja BIGORRILHO								
Dias 1...35 de Simulação								
Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.
1	81		8	67		15	51	
2	92		9	90		16	62	
3	38		10	122		17	49	
4	46	549	11	99	477	18	103	400
5	128		12	37		19	67	
6	60		13	30		20	30	
7	104		14	32		21	38	
Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.	Dia Sim.	Demanda Diária	Dem. Sem.			
22	22		29	18				
23	20		30	21				
24	32		31	11				
25	0	95	32	65	180			
26	10		33	20				
27	11		34	35				
28	0		35	10				

FONTE: O AUTOR

TABELA 22 – PREVISÃO CALCULADA PARA LOJA “BIGORRILHO” (AMORTECIM. EXP. DUPLO)

Amortecimento Exponencial Duplo loja BIGORRILHO Calculado x Esperado (alfa=0,60, beta=0,50)								
Semana	Dt+1 (Unds.)	Lt (Unds)	Lt+1 (Unds)	Tt (Unds)	Tt+1 (Unds)	Ft+1 Esperado (Unds.)	Ft+1 Calculado (Unds.)	Pág.
1	549	366,00	475,80	0,00	54,90	530,70	531	19
2	477	475,80	498,48	54,90	38,79	537,27	537	36
3	400	498,48	454,91	38,79	-2,39	452,52	453	54
4	95	454,91	238,01	-2,39	-109,65	128,36	128	70
5	180	238,01	159,34	-109,65	-94,15	65,19	65	89

FONTE: O AUTOR

*Erro RMSE*

A loja “SANTAFELIC” e o centro de distribuição “CURITIBA” foram utilizados para validar o algoritmo que calcula o erro RMSE de acordo com o (QUADRO 6).

Uma vez que o algoritmo não diferencia as entidades, considera-se suficiente aplicar-se a validação para uma entidade Loja e uma entidade Centro de Distribuição.

Para a configuração de teste, a memória do erro foi configurada para calcular o erro sobre seis períodos, a equação do erro RMSE é descrita abaixo:

$$REQM_6 = \sqrt{(1/6)\sum_{t=1}^6 E_t^2} \quad (4.6)$$

As (TABELA 23) e (TABELA 24) apresentam os valores de demanda para as entidades-teste ao longo das dez semanas de simulação e os valores calculados e esperados do erro RMSE. Os valores de demanda semanal e previsão foram retirados do arquivo CENARIO001L0.pdf, cuja listagem começa a partir das páginas indicadas nas tabelas.

Pode-se verificar que o algoritmo do software de simulação que contabiliza o erro RMSE está de acordo com a equação (4.6), as pequenas diferenças entre os valores está relacionado ao erro de arredondamento do valor da demanda utilizado no cálculo do RMSE esperado.

TABELA 23 – ERRO RMSE DA PREVISÃO LOJA “SANTAFELIC”

Erro RMSE para a loja SANTAFELIC					
Semana	Previsão Prox. Sem.	Realizado Sem. Atual	RMSE Esperado	RMSE Calculado	Pág.
1	293	335	42,00	42,5	19
2	293	302	30,37	30,79	36
3	293	317	28,41	28,85	53
4	318	332	25,58	25,95	70
5	317	325	23,16	23,48	89
6	325	639	129,92	130,1	109
7	432	1125	310,85	310,91	130
8	696	1139	359,61	359,6	149
9	968	1013	359,95	359,94	171
10	1092	443	446,91	446,98	191

FONTE: O AUTOR

TABELA 24 – ERRO RMSE DA PREVISÃO CENTRO DISTRIBUIÇÃO “CURITIBA”

Erro RMSE para o centro de distribuição CURITIBA				
Semana	Previsão Prox. Sem.	Realizado Sem. Atual	RMSE Esperado	RMSE Calculado
1	2555	3595	1040,00	1040,50
2	2555	0	1950,59	1950,40
3	2555	3595	1702,08	1702,03
4	2555	4136	1672,63	1672,71
5	2555	6833	2428,67	2428,89
6	2555	1602	2250,94	2251,10
7	2555	10886	4056,36	4056,60
8	2555	0	4056,36	4056,60
9	2555	7394	4491,82	4492,11
10	2555	0	4565,94	4566,15

FONTE: O AUTOR

### *Outros Erros*

A (TABELA 25) abaixo apresenta os valores de erro RMSE, MAE, MAPE, Viés e Razão de Viés, de acordo com o (QUADRO 8) para um cenário de simulação de dez semanas com uma entidade Loja, uma entidade Centro de Distribuição e uma entidade Fábrica.



Os logs deste cenário estão armazenados nos arquivos CENARIO03aL1.pdf, CENARIO03bL1.pdf e CENARIO03cL1.pdf. Os valores apresentados pelo algoritmo de simulação estão impressos na (FIGURA 53) a seguir.

Pode-se perceber que os valores destacados pelas flechas brancas na figura são aproximadamente iguais aos valores calculados na (TABELA 25), as pequenas diferenças encontradas tem origem no fato do cálculo do erro não ser realizado com os valores truncados da demanda e da previsão, ao passo que os valores apresentados nos logs são truncados para o maior inteiro imediatamente superior ao valor com casa decimal.

TABELA 25 – ERRO RMSE DA PREVISÃO LOJA “LOJA 1”

Erros de Previsão				
Semana	Demanda LOJA1	Medias Moveis N=3	Am. Exp. Simples Alfa=3	Am. Exp. Duplo. Alfa=0,1 Beta=0,2
1	239	239	239	239
2	250	239	239	239
3	268	239	242	241
4	262	252	250	244
5	258	260	254	247
6	258	263	255	249
7	313	259	256	252
8	269	276	273	261
9	189	280	272	264
10	236	257	247	258
RMSE		35,75	33,53	33,57
MAE		23,00	21,10	24,20
MAPE		9,87	8,97	10,06
Viés		-22,00	15,00	48,00
Razao de Vies		-0,96	0,71	1,98

FONTE: O AUTOR

+.,+.,+ ANÁLISE DOS MODELOS DE PREVISÃO [Loja 01] +.,+.,+					
MODELO	RMSE	MAE	MAPE	VIES	R. VIES
M. M. n=2	38,05	22,70	9,84	-28,50	-1,26
M. M. n=3	35,66	22,91	9,83	-23,42	-1,02
M. M. n=4	34,50	22,93	9,77	4,75	0,21
M. M. n=5	34,74	24,49	10,33	29,95	1,22
M. M. n=6	35,64	26,25	10,99	53,00	2,02
M. M. n=7	38,04	28,16	11,57	75,39	2,68
M. M. n=8	38,35	30,15	12,25	105,00	3,48
M. M. n=9	33,79	27,40	10,81	132,53	4,84
A.E.S. a=0,10	32,65	24,23	9,87	83,13	3,43
A.E.S. a=0,20	33,01	22,33	9,34	40,94	1,83
A.E.S. a=0,30	33,46	21,08	8,96	14,76	0,70
A.E.S. a=0,40	33,88	20,38	8,72	-0,83	-0,04
A.E.S. a=0,50	34,32	20,45	8,76	-9,34	-0,46
A.E.S. a=0,60	34,83	21,75	9,30	-13,05	-0,60
A.E.S. a=0,70	35,43	22,89	9,76	-13,44	-0,59
A.E.S. a=0,80	36,10	24,28	10,30	-11,48	-0,47
A.E.S. a=0,90	36,81	25,52	10,77	-7,90	-0,31
M. Holt a=0,10 b=0,10	33,15	24,31	10,01	64,79	2,66
M. Holt a=0,10 b=0,20	33,74	24,34	10,11	47,71	1,96
M. Holt a=0,10 b=0,30	34,40	24,31	10,19	31,82	1,31

FIGURA 53 – JANELA DE COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO  
FONTE: O AUTOR

### Mudanças Bruscas do Volume de Demanda

Configurou-se as lojas “BIGORRILHO” e “SANTAFELIC” para serem submetidas a um degrau no volume da demanda, conforme explicado no item 3.2.3.2. Os parâmetros, de acordo com a página 1 do arquivo CENARIO01L0.pdf, são os seguintes:

- a) Loja “BIGORRILHO”: Degrau de -205% com início no vigésimo dia de simulação e duração de quinze dias.
- b) LOJA “SANTAFELIC”: Degrau de +203% com início no quadragésimo dia de simulação e duração de vinte e cinco dias.

A (TABELA 26) abaixo apresenta os valores de demanda semanal para as duas lojas, pode-se observar uma queda repentina da demanda ao longo da terceira semana de simulação para a loja “BIGORRILHO” e um aumento repentino de demanda para a loja “SANTAFELIC” ao longo da sexta semana de simulação.

O gráfico da demanda diária na (FIGURA 54) logo a seguir pode se observar com mais detalhe as variações repentinas. Os valores foram contabilizados a partir do arquivo CENARIO01L0.pdf. Observa-se que as variações de demanda foram implementadas de acordo com o especificado.

TABELA 26 – DEMANDAS COM E SEM TENDÊNCIA

Demanda Semanal Lojas BIGORRILHO e SANTAFELIC				
BIGORRILHO		SANTAFELIC		Pág.
Semana	Demanda	Semana	Demanda	
1	549	1	335	19
2	477	2	302	36
3	<b>400</b>	3	317	53
4	<b>95</b>	4	332	70
5	<b>180</b>	5	325	89
6	564	6	<b>639</b>	109
7	526	7	<b>1125</b>	130
8	518	8	<b>1139</b>	149
9	557	9	<b>1013</b>	171
10	608	10	443	191

FONTE: O AUTOR

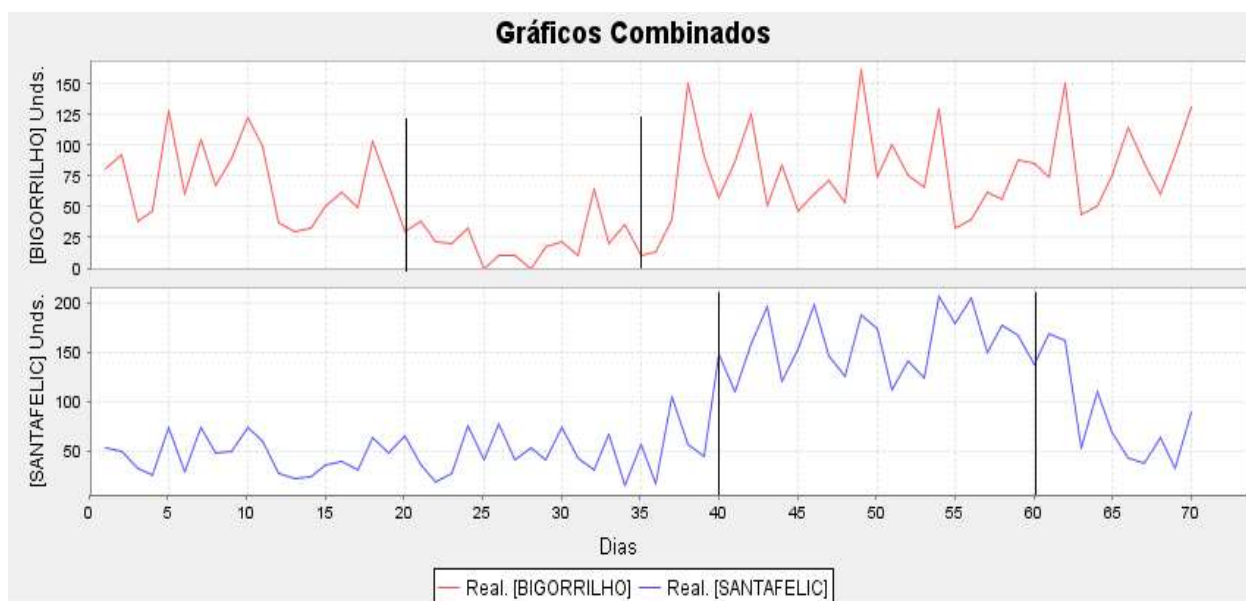


FIGURA 54 –VARIAÇÕES REPENTINAS DE DEMANDA LOJA “BIGORRILHO” E “SANTAFELIC”  
 FONTE: O AUTOR

### *Demanda das Entidades Loja com Tendência*

A (TABELA 27) apresenta os valores de demanda para as duas entidades, os valores da primeira coluna de demanda apresentam um aumento monotônico da demanda ao passo que a entidade representada na segunda coluna não apresenta tendência. Nas (FIGURA 55) e (FIGURA 56) observam-se os modelo equivalentes obtidos através da técnica de regressão linear simples para as duas séries temporais, que representam a demanda ao longo de quinze semanas de simulação.

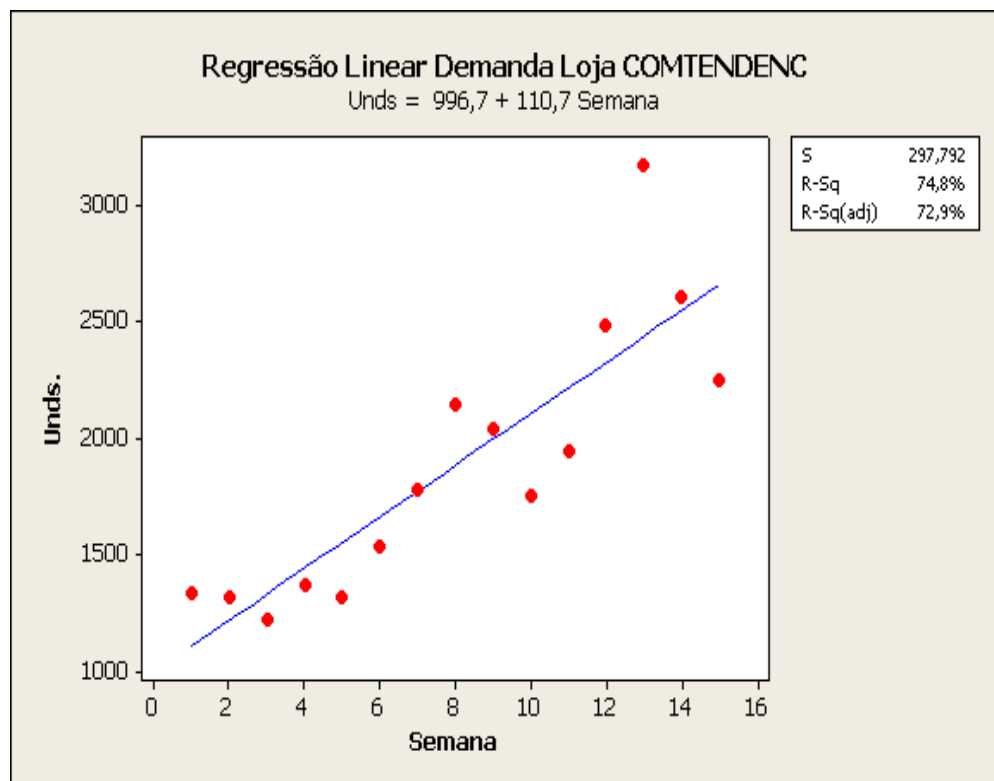
O fator  $R^2$  da loja com tendência é próximo de 100%, o que indica uma forte associação linear entre a variável semana e a variável demanda. A loja sem a componente de tendência habilitada apresenta um fator  $R^2$  próximo de zero, portanto a variável semana tem muito pouca influência sobre a variabilidade da demanda.

Portanto, ao comparar-se os dois resultados da regressão linear simples, pode-se concluir que o algoritmo responsável pela injeção da componente de tendência no comportamento da demanda está funcionando adequadamente. O cenário desta simulação se encontra no arquivo CENARIO02L1.pdf.

TABELA 27 – DEMANDA SEMANAL LOJA COM E SEM TENDÊNCIA

Loja Com e Sem Tendência				Pág.
COMTENDENC		SEMTENDENC		
Semana	Demanda	Semana	Demanda	
1	1329	1	996	5
2	1312	2	760	8
3	1223	3	789	11
4	1365	4	925	15
5	1314	5	895	18
6	1532	6	719	22
7	1779	7	725	25
8	2143	8	831	28
9	2037	9	828	31
10	1747	10	836	35
11	1939	11	782	38
12	2482	12	935	41
13	3169	13	771	44
14	2609	14	782	48
15	2249	15	853	51

FONTE: O AUTOR

FIGURA 55 – REGRESSAO LINEAR CURVA DE DEMANDA LOJA COM TENDÊNCIA  
FONTE: O AUTOR

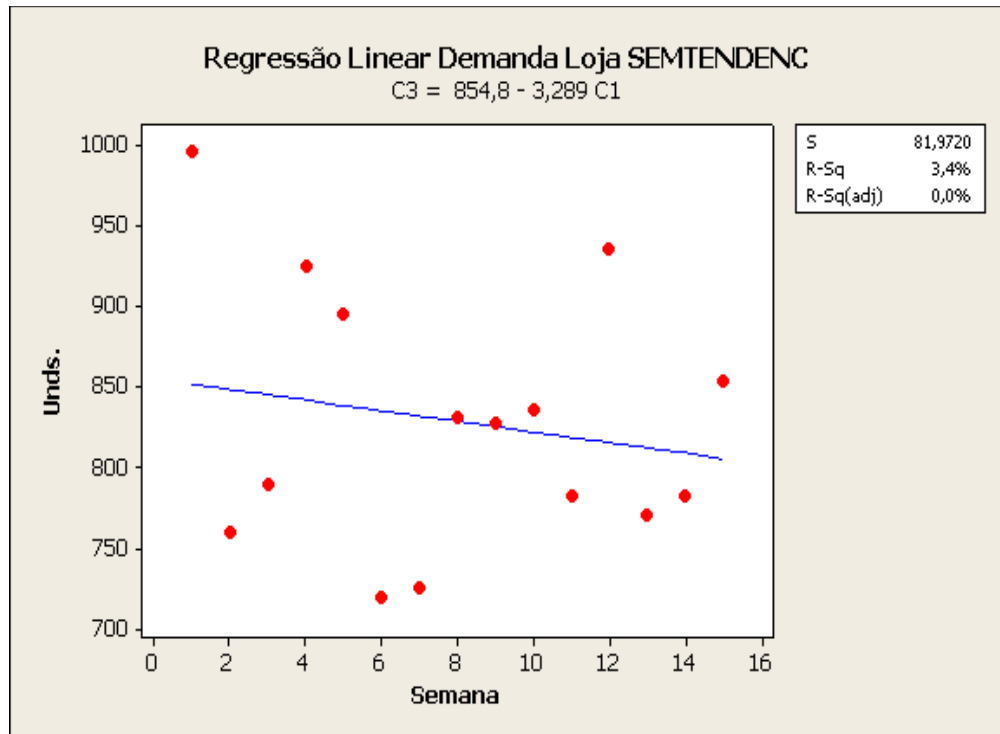


FIGURA 56 – REGRESSAO LINEAR CURVA DE DEMANDA LOJA SEM TENDÊNCIA  
FONTE: O AUTOR

#### *Escolha do Fornecedor Pelo Critério de Menor ROP*

Cenário A: Fornecedor que apresenta menor nível de ROP com estoque físico que atende o lote de ressuprimento.

A (FIGURA 57) abaixo apresenta o comportamento do algoritmo de simulação para o cenário A, verifica-se que a resposta está aderente ao definido pelo fluxograma apresentado na (FIGURA 18). Os *logs* da simulação estão armazenados no arquivo CENARIO04aL0.pdf.

Cenário B: Fornecedor que apresenta menor nível de ROP com estoque físico não atende o lote de ressuprimento.

A (FIGURA 58) a seguir apresenta o comportamento do algoritmo de simulação para o cenário B, observa-se que a resposta está aderente ao definido pelo fluxograma apresentado na (FIGURA 18).

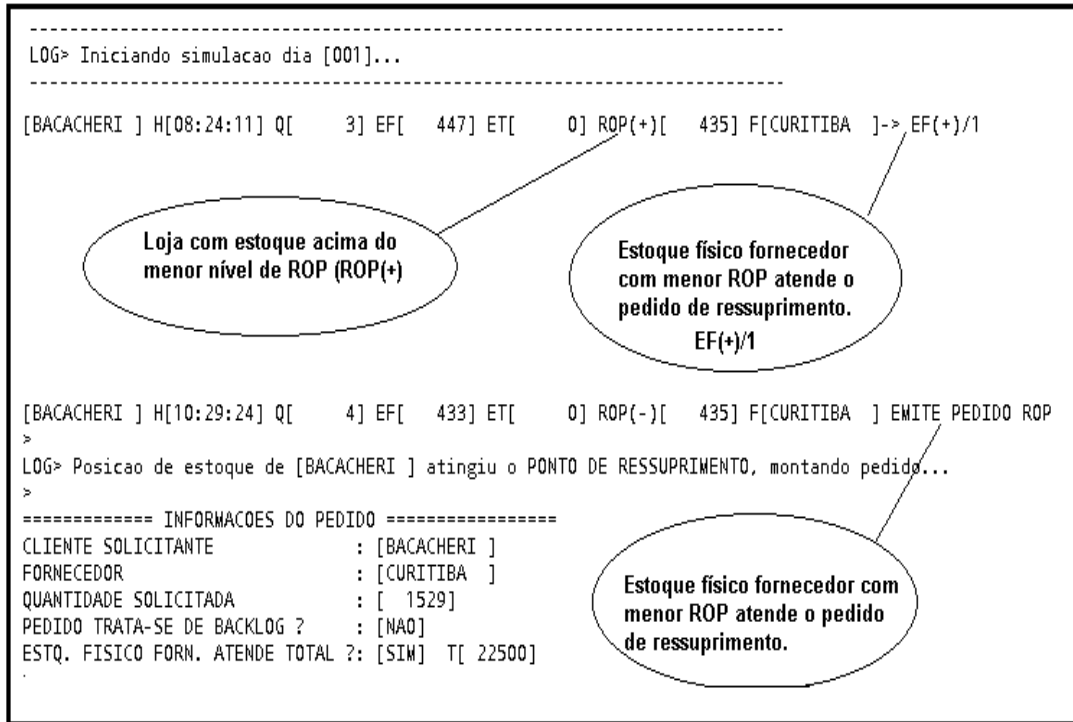


FIGURA 57 – CENÁRIO A SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO MENOR ROP  
FONTE: O AUTOR

Os *logs* da simulação estão armazenados no arquivo CENARIO04bL0.pdf.

Cenário C: Nenhum estoque físico de fornecedor atende o pedido de ressuprimento.

A (FIGURA 59) abaixo apresenta o comportamento do algoritmo de simulação para o cenário C, verifica-se que o algoritmo do software de simulação responde de maneira adequada. Os *logs* da simulação estão armazenados no arquivo CENARIO04cL0.pdf.

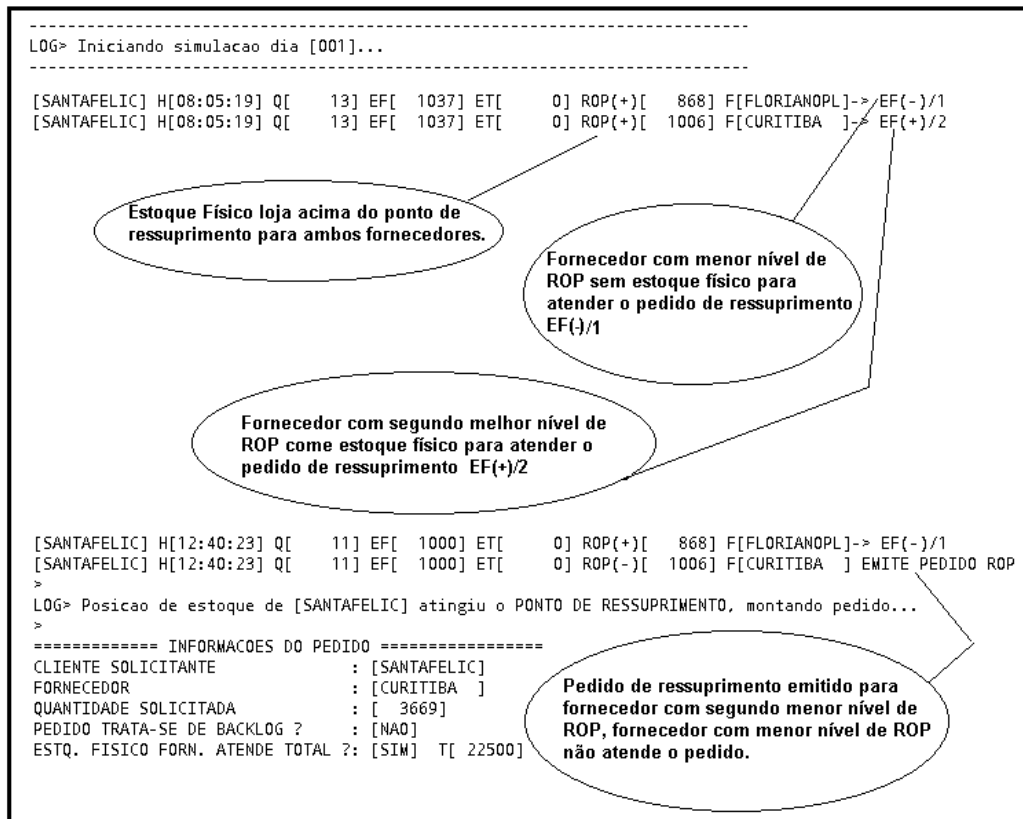


FIGURA 58 – CENÁRIO B SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO MENOR ROP  
FONTE: O AUTOR

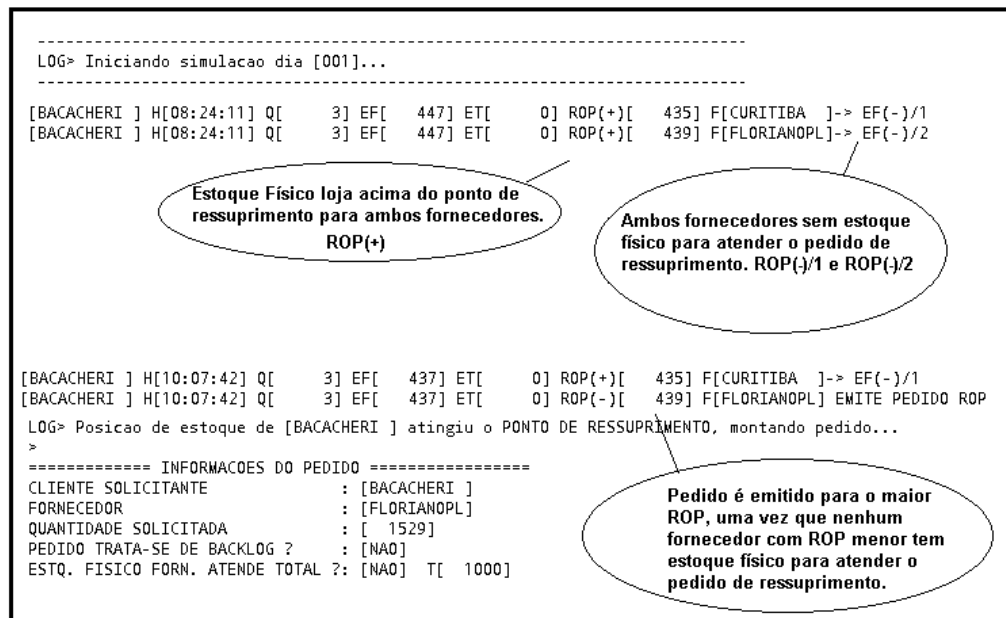


FIGURA 59 – CENÁRIO C SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO MENOR ROP  
FONTE: O AUTOR

*Escolha do Fornecedor Pelo Critério Fixo*

A (FIGURA 60) apresenta o comportamento do algoritmo de simulação para o cenário de critério de seleção pelo fornecedor fixo, pode-se observar que a loja “BACACHERI” seleciona o centro de distribuição “fixo” independente se apresenta ou não o melhor ROP ou se o estoque físico atende ao pedido de ressuprimento, de acordo portanto com a especificação do modelo de simulação.

Os logs da simulação estão armazenados no arquivo CENARIO05L0.pdf.

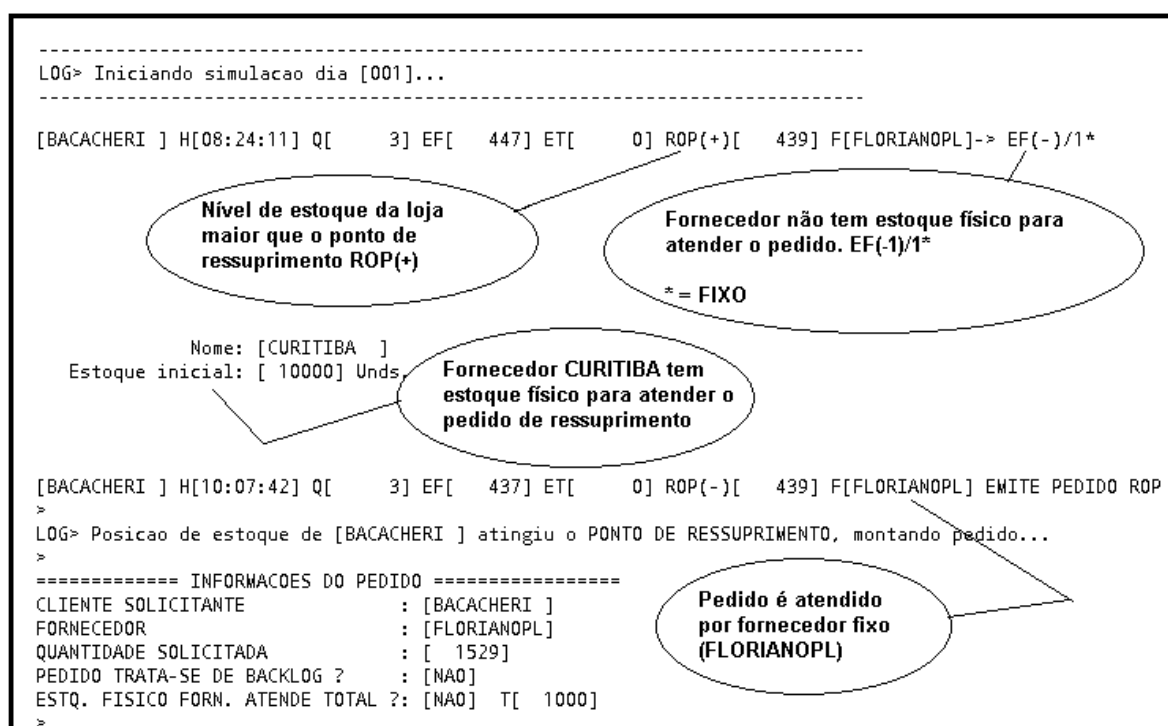


FIGURA 60 – CENÁRIO SELEÇÃO DE FORNECEDOR PELO CRITÉRIO FIXO  
FONTE: O AUTOR

### *Controle de Estoque por Revisão Periódica*

Observa-se na (FIGURA 61) abaixo, que o valor de  $T^*$  aumenta a medida que os parâmetros de gestão de estoque são atualizados a cada semana, isto é esperado uma vez que os intervalos dos pedidos aos centros de distribuição são maiores, podendo ficar sem receber pedido por intervalo maior que uma semana.

Dessa forma o algoritmo de previsão irá diminuir a previsão e como  $T^*$  é definido pela equação (2.1.8), o valor de  $T^*$  tende a aumentar.



Conclui-se portanto que o algoritmo responsável pelo controle de estoque por revisão periódica está funcionando adequadamente. Os *logs* dessa simulação se encontram no arquivo CENARIO06L0.pdf.

```

-----
LOG> Iniciando simulacao dia [001]...
-----

Faltam [ 22] dias para [FLORIANOPL] atingir a data do pedido de ressuprimento...   T* = 22 dias
>
-----
LOG> Iniciando simulacao dia [008]...
-----

[FLORIANOPL]                T* : [  23] dias          T* mudou! Agora é 23 dias (22+1)
-----
LOG> Iniciando simulacao dia [015]...
-----

[FLORIANOPL]                T* : [  25] dias          T* mudou! Agora é 25 dias (22+3)
-----
LOG> Iniciando simulacao dia [022]...
-----

[FLORIANOPL]                T* : [  27] dias          T* mudou! Agora é 27 dias (22+5)
[FLORIANOPL]                M* : [ 19892] Unds. LT: [ 28,00] dias d.p. LT: [  5,50]

[FLORIANOPL] POS. ESTOQUE : [ 3434] = EF[ 3434] + ET[  0]  ➡ Estoque físico no dia 27
-----
LOG> Iniciando simulacao dia [028]...
-----

LOG> Período de ressuprimento de [FLORIANOPL] atingido, montando pedido...
>
===== INFORMACOES DO PEDIDO =====
CLIENTE SOLICITANTE          : [FLORIANOPL]
FORNECEDOR                   : [SAOPAULO ]
QUANTIDADE SOLICITADA        : [ 16458]
PEDIDO TRATA-SE DE BACKLOG ?  : [NAO]
ESTQ. FISICO FORN. ATENDE TOTAL ? : [SIM] T[INFINITO]
-----
Pedido = M* - Pos. Estoque
1458 = 19892 - (3434+0)

```

FIGURA 61 – PERÍODO DE RESSUPRIMENTO REVISÃO PERÍODICA  
FONTE: O AUTOR

### *Iteração Entre as Entidades*

Cenário A: Pedido plenamente atendido pelo estoque físico do fornecedor

Na (FIGURA 62) pode-se visualizar o *log* do cenário A indicando o atendimento pleno do pedido da loja “PILARZINHO” pelo fornecedor “CURITIBA” por meio de seu estoque físico, pode-se perceber que o *lead time* total é apenas o *lead time* normal da entrega do pedido pelo centro de distribuição.

```

[PILARZINHO] H[10:17:03] Q[ 9] EF[ 1281] ET[ 0] ROP(-)[ 1287] F[CURITIBA ] EMITE PEDIDO ROP
>
LOG> Posicao de estoque de [PILARZINHO] atingiu o PONTO DE RESSUPRIMENTO, montando pedido...
>
===== INFORMACOES DO PEDIDO =====
CLIENTE SOLICITANTE      : [PILARZINHO]
FORNECEDOR               : [CURITIBA ]
QUANTIDADE SOLICITADA    : [ 2468]
PEDIDO TRATA-SE DE BACKLOG ? : [NAO]
ESTQ. FISICO FORN. ATENDE TOTAL ? : [SIM] T[ 2800]
>
Atualizando ESTOQUE FISICO fornecedor [CURITIBA ] DE [ 2800] PARA [ 332]
>
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO cliente [PILARZINHO] DE [ 0] PARA [ 2468]
>
TEMPO DE ENTREGA deste pedido: LT FORNECEDOR [ 15] dias = [ 15] dias.
>
LEAD TIME TOTAL deste pedido: [ 15] dias = {LT FORNECEDOR, sem atrasos por ser pedido em transito ou p
>
VALOR MEDIO LT deste cliente: [15,00] dias D. P. LT: [ 0,00] dias Hist. QTD PEDIDOS: [ 1]
>
Pedido: [PILARZINHO/001] Qtdade: [ 2468] expedido para o cliente.

```

Pedido plenamente atendido pelo estoque físico do fornecedor

Lead Time da Entrega

CENARIO7ABLO.pdf

FIGURA 62 – CENÁRIO A DE EMISSÃO DE PEDIDOS  
FONTE: O AUTOR

Cenário B: Pedido parcialmente atendido pelo estoque físico e plenamente atendido pelo estoque em transito do fornecedor.

Na (FIGURA 63) observa-se a loja “BACACHERI” sendo parcialmente atendida pelo estoque físico do fornecedor “CURITIBA” e o saldo do pedido sendo atendido pelo estoque em trânsito, destaca-se o aumento do *lead time* deste pedido, uma vez que o *lead time* do pedido em transito é incorporado.

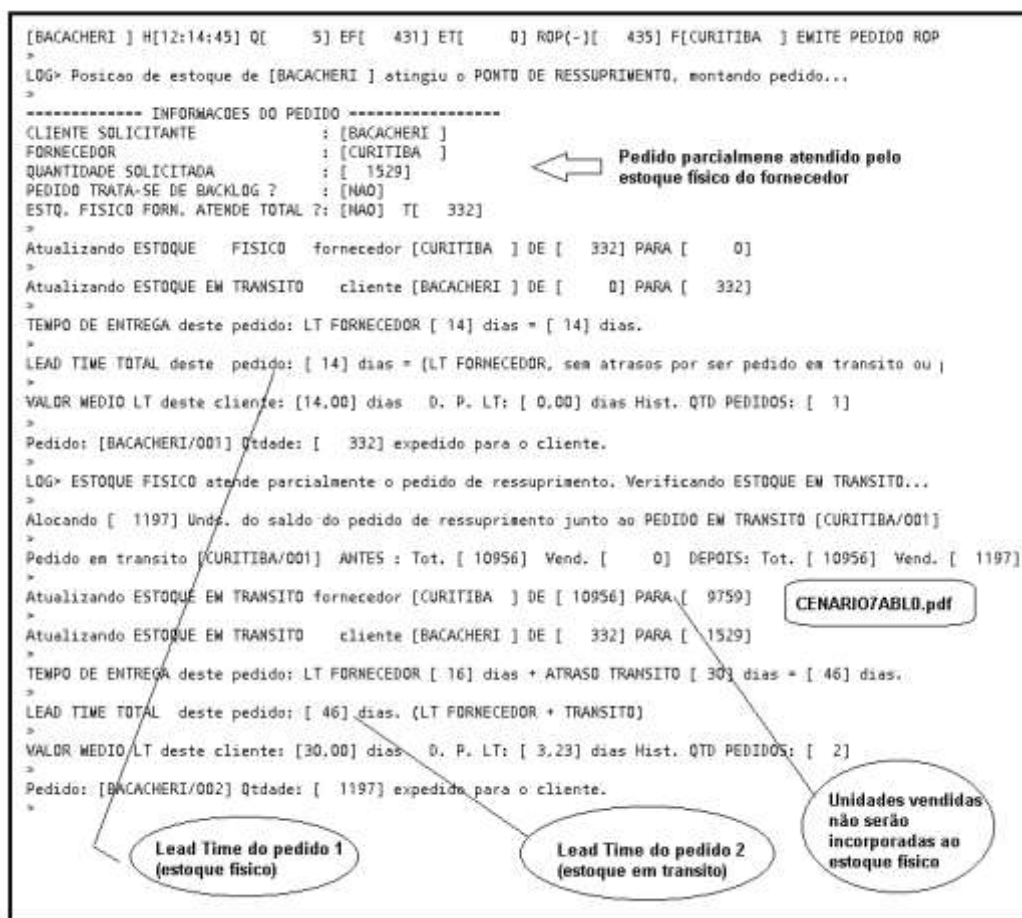


FIGURA 63 – CENÁRIO B DE EMISSÃO DE PEDIDOS  
FONTE: O AUTOR

Cenário C: Ruptura do estoque físico do fornecedor.

Em havendo ruptura de estoque físico do fornecedor, o algoritmo do *software* de simulação verifica a possibilidade de atendimento pelo estoque em transito, como pode ser observado na (FIGURA 64) a seguir.

Cenário D: Múltiplos Pedidos em Transito

Os pedidos podem ser atendidos por múltiplos pedidos em transito, como pode ser visualizado na (FIGURA 65) a seguir, os pedidos são ordenado pelo menor tempo de entrega e os atrasos devido ao recebimento são incorporados ao *lead time* do pedido parcial de ressuprimento de acordo.

```

[ BACACHERI ] H[12:14:45] Q[ 5] EF[ 431] ET[ 0] ROP[ - ][ 435] F[ CURITIBA ] EMITE PEDIDO ROP
>
LOG> Posicao de estoque de [ BACACHERI ] atingiu o PONTO DE RESSUPRIMENTO, montando pedido...
>
===== INFORMACOES DO PEDIDO =====
CLIENTE SOLICITANTE      : [ BACACHERI ]
FORNECEDOR                : [ CURITIBA ]
QUANTIDADE SOLICITADA     : [ 1529 ]
PEDIDO TRATA-SE DE BACKLOG ? : [ NAO ]
ESTQ. FISICO FORN. ATENDE TOTAL ? : [ NAO ] T[ 0 ]
>
LOG> ESTOQUE FISICO fornecedor ZERADO. Verificando ESTOQUE EM TRANSITO...
>
Alocando [ 1529 ] Unds. do saldo do pedido de ressuprimento junto ao PEDIDO EM TRANSITO [ CURITIBA/001 ]
>
Pedido em transito [ CURITIBA/001 ] ANTES : Tot. [ 10956 ] Vend. [ 0 ] DEPOIS: Tot. [ 10956 ] Vend. [ 1529 ]
>
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO fornecedor [ CURITIBA ] DE [ 10956 ] PARA [ 9427 ]
>
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO cliente [ BACACHERI ] DE [ 0 ] PARA [ 1529 ]
>
TEMPO DE ENTREGA deste pedido: LT FORNECEDOR [ 14 ] dias + ATRASO TRANSITO [ 30 ] dias = [ 44 ] dias.
>
LEAD TIME TOTAL deste pedido: [ 44 ] dias. (LT FORNECEDOR + TRANSITO)
>
VALOR MEDIO LT deste cliente: [ 44,00 ] dias D. P. LT: [ 0,00 ] dias Hist. QTD PEDIDOS: [ 1 ]
>
Pedido: [ BACACHERI/001 ] Qtdade: [ 1529 ] expedido para o cliente.

```

Utilizando estoque em transito

Estoque físico do fornecedor zero

Lead Time pedido adicionado atraso do estoque em transito

CENARIO7CLO.pdf

FIGURA 64 – CENÁRIO C DE EMISSÃO DE PEDIDOS  
FONTE: O AUTOR

```

[ FAZENDINHA ] H[08:17:55] Q[ 5] EF[ 15] ET[ 0] ROP[ - ][ 2029] F[ FLORIANOPL ] EMITE PEDIDO ROP
>
LOG> Posicao de estoque de [ FAZENDINHA ] atingiu o PONTO DE RESSUPRIMENTO, montando pedido...
>
===== INFORMACOES DO PEDIDO =====
CLIENTE SOLICITANTE      : [ FAZENDINHA ]
FORNECEDOR                : [ FLORIANOPL ]
QUANTIDADE SOLICITADA     : [ 3784 ]
PEDIDO TRATA-SE DE BACKLOG ? : [ NAO ]
ESTQ. FISICO FORN. ATENDE TOTAL ? : [ NAO ] T[ 0 ]
>
LOG> ESTOQUE FISICO fornecedor ZERADO. Verificando ESTOQUE EM TRANSITO...
>
Alocando [ 3163 ] Unds. do saldo do pedido de ressuprimento junto ao PEDIDO EM TRANSITO [ FLORIANOPL/002 ]
>
Pedido em transito [ FLORIANOPL/002 ] ANTES : Tot. [ 7186 ] Vend. [ 4023 ] DEPOIS: Tot. [ 7186 ] Vend. [ 7186 ]
>
Ainda restam [ 621 ] Unds. do pedido de ressuprimento do cliente para serem atendidas.
>
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO fornecedor [ FLORIANOPL ] DE [ 13866 ] PARA [ 10703 ]
>
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO cliente [ FAZENDINHA ] DE [ 0 ] PARA [ 3163 ]
>
TEMPO DE ENTREGA deste pedido: LT FORNECEDOR [ 12 ] dias + ATRASO TRANSITO [ 26 ] dias = [ 38 ] dias.
>
LEAD TIME TOTAL deste pedido: [ 38 ] dias. (LT FORNECEDOR + TRANSITO)
>
VALOR MEDIO LT deste cliente: [ 38,00 ] dias D. P. LT: [ 0,00 ] dias Hist. QTD PEDIDOS: [ 1 ]
>
Pedido: [ FAZENDINHA/001 ] Qtdade: [ 3163 ] expedido para o cliente.
>
Alocando [ 621 ] Unds. do saldo do pedido de ressuprimento junto ao PEDIDO EM TRANSITO [ FLORIANOPL/001 ]
>
Pedido em transito [ FLORIANOPL/001 ] ANTES : Tot. [ 7186 ] Vend. [ 3669 ] DEPOIS: Tot. [ 7186 ] Vend. [ 4290 ]
>
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO fornecedor [ FLORIANOPL ] DE [ 10703 ] PARA [ 10082 ]
>
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO cliente [ FAZENDINHA ] DE [ 3163 ] PARA [ 3784 ]
>
TEMPO DE ENTREGA deste pedido: LT FORNECEDOR [ 14 ] dias + ATRASO TRANSITO [ 32 ] dias = [ 46 ] dias.
>
LEAD TIME TOTAL deste pedido: [ 46 ] dias. (LT FORNECEDOR + TRANSITO)
>
VALOR MEDIO LT deste cliente: [ 42,00 ] dias D. P. LT: [ 0,81 ] dias Hist. QTD PEDIDOS: [ 2 ]
>
Pedido: [ FAZENDINHA/002 ] Qtdade: [ 621 ] expedido para o cliente.

```

Ruptura de estoque

Alocando do estoque em transito pelo pedido com data de recebimento mais próxima

Saldo residual

Alocando saldo residual do estoque em transito

CENARIO7DL0.pdf

FIGURA 65 – CENÁRIO D DE EMISSÃO DE PEDIDOS  
FONTE: O AUTOR

## Cenário E: Pedido em Aberto

Caso o pedido não possa ser atendido pelos estoques físico ou em transito, é mantido em aberto até o momento que possa ser emitido. A (FIGURA 66) mostra um exemplo de pedido em aberto, sendo fechado somente quando o fornecedor atinge seu período de ressuprimento.

Neste momento o pedido é fechado e o *lead time* informado é acrescido dos atrasos do *lead time* do fornecedor, fábrica e tempo em aberto desde a sua origem.

Pode-se portanto concluir que o algoritmo está tratando da iteração entre as entidades de acordo com o especificado no item 3.3.4.1

Os *logs* de simulação para o cenário A e B se encontram no arquivo CENARIO07abL0.pdf, e para os cenários C, D e E se encontram nos arquivos CENARIO07cL0.pdf, CENARIO07dL0.pdf e CENARIO07eL0.pdf.

```
[AGUVERDE ] HQ8:17:55] Q[ 0] EF[ 94] ET[ 0] ROP[~][ 2311] F[FLORIANOP] EMITE PEDIDO ROP
LOG* Posicao de estoque de [AGUVERDE ] atingiu o PONTO DE RESSUPRIMENTO, montando pedido...
*
***** INFORMACOES DO PEDIDO *****
CLIENTE SOLICITANTE : [AGUVERDE ]
FORNECEDOR : [FLORIANOP]
QUANTIDADE SOLICITADA : [ 4023]
PEDIDO TRATA-SE DE BACKLOG ? : [NAO]
ESTQ. FISICO FORN. ATENDE TOTAL ? : [NAO] T[ 100]
*
Atualizando ESTOQUE FISICO fornecedor [FLORIANOP] DE [ 100] PARA [ 0]
*
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO cliente [AGUVERDE ] DE [ 0] PARA [ 100]
*
TEMPO DE ENTREGA deste pedido: LT FORNECEDOR [ 15] dias = [ 15] dias.
LEAD TIME TOTAL deste pedido: [ 15] dias = (LT FORNECEDOR, sem atrasos por ser pedido em transito ou pedido esta
*
VALOR MEDIO LT deste cliente: [15,00] dias D. P. LT: [ 0,00] dias Hist. QTD PEDIDOS: [ 1]
*
Pedido: [AGUVERDE/001] Qtdade: [ 100] expedido para o cliente.
*
LOG* ESTOQUE FISICO atende parcialmente o pedido de ressuprimento. Verificando ESTOQUE EM TRANSITO...
*
ESTOQUE TRANSITO de [FLORIANOP] ZERADO, GERA PEDIDO EM ABERTO para tratar o saldo.
*
Fornecedor nao enviou [ 3923] Unds. de um total de [ 4023] Unds. Novo pedido Nr [AGUVERDE/002] fica em aberto.
*
LOG* (Checando período de ressuprimento para entidades configuradas com REVISAO PERIODICA,,
*
LOG* Período de ressuprimento de [FLORIANOP] atingido, montando pedido...
*
***** INFORMACOES DO PEDIDO *****
CLIENTE SOLICITANTE : [FLORIANOP]
FORNECEDOR : [SADPAULO ]
QUANTIDADE SOLICITADA : [ 22285]
PEDIDO TRATA-SE DE BACKLOG ? : [NAO]
ESTQ. FISICO FORN. ATENDE TOTAL ? : [SIM] T[INFINITO]
*
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO cliente [FLORIANOP] DE [ 0] PARA [ 22285]
*
Alocando [ 3923] Unds. do saldo do pedido de ressuprimento junto ao PEDIDO EM TRANSITO [FLORIANOP/001]
*
Pedido em transito [FLORIANOP/001] ANTES : Tot. [ 22285] Vend. [ 0] DEPOIS: Tot. [ 22285] Vend. [ 3923]
*
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO fornecedor [FLORIANOP] DE [ 22285] PARA [ 18362]
*
Atualizando ESTOQUE EM TRANSITO cliente [AGUVERDE ] DE [ 0] PARA [ 3923]
*
TEMPO DE ENTREGA deste pedido: LT FORNECEDOR [ 11] dias + ATRASO TRANSITO [ 31] dias = [ 42] dias.
*
LEAD TIME TOTAL deste pedido: [ 67] dias. (LT FORNECEDOR + TRANSITO + ATRASO PED. ABERTO POR [ 25] dias)
*
VALOR MEDIO LT deste cliente: [41,00] dias D. P. LT: [ 5,25] dias Hist. QTD PEDIDOS: [ 2]
*
Pedido em aberto: [AGUVERDE/002] Qtdade: [ 3923] fechado e expedido para o cliente.
```

Fornecedor com  
estoque em transito  
igual a zero, pedido  
fica em aberto

Pedido em transito devido ao  
tempo de ressuprimento do  
fornecedor ser atingido

Pedido em aberto fechado,  
lead time contabiliza o atraso  
de acordo

FIGURA 66 – CENÁRIO E DE EMISSÃO DE PEDIDOS  
FONTE: O AUTOR

### O Efeito Chicote

O gráfico da (FIGURA 67) apresenta as demandas da loja “SANTACAND”, centro de distribuição “CURITIBA” e loja “SÃO PAULO”, pode-se perceber o efeito chicote avaliando-se a intensidade da demanda que aumenta praticamente duas ordens de grandeza no sentido *upstream* da cadeia de suprimentos.

O perfil da demanda também mudou pois sua variação é muito maior para os centros de distribuições e fábricas, a medida que a demanda se torna menos previsível torna-se maior o nível de estoque de segurança para não haver risco de ruptura de estoque. O arquivo CENARIO08L1.pdf armazena o *log* completo desta simulação de cem semanas.

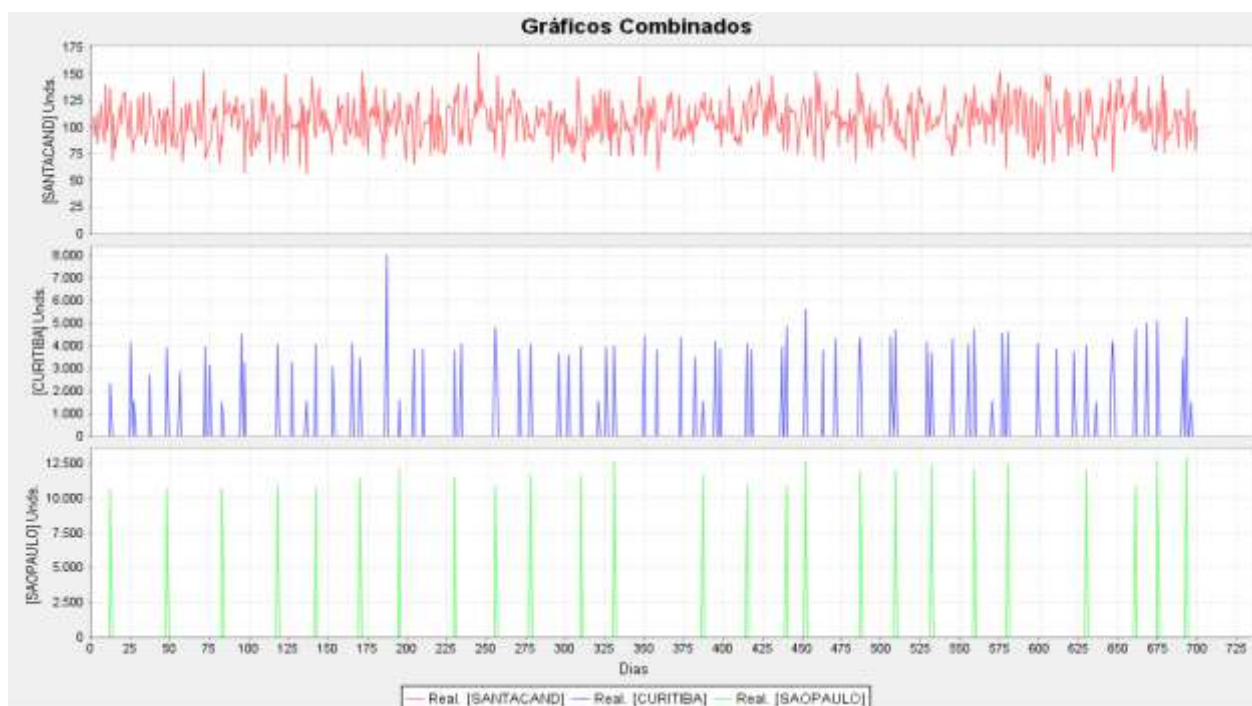


FIGURA 67 – O EFEITO CHICOTE  
FONTE: O AUTOR

### Custos de Estoque

As (FIGURA 68) e (FIGURA 69) abaixo descrevem a evolução dos custos de estoque calculados pelo algoritmo do software de simulação, pode-se observar que os custos evoluem de acordo com o especificado no item 3.3.2.7.

Na primeira figura estão descritos os custos de aquisição referentes a dois pedidos e os custos de vendas perdidas pois a loja “BACACHERI” no primeiro e no segundo dias de simulação, também descreve o custo do estoque de segurança no último dia de simulação, após cem semanas.

A segunda figura apresenta a evolução do estoque de manutenção após recepção do pedido no décimo sexto dia de simulação e no dia seguinte, podendo-se observar que os custos são somados. Os logs desta simulação estão armazenados no arquivo CENARIO09L0.pdf.

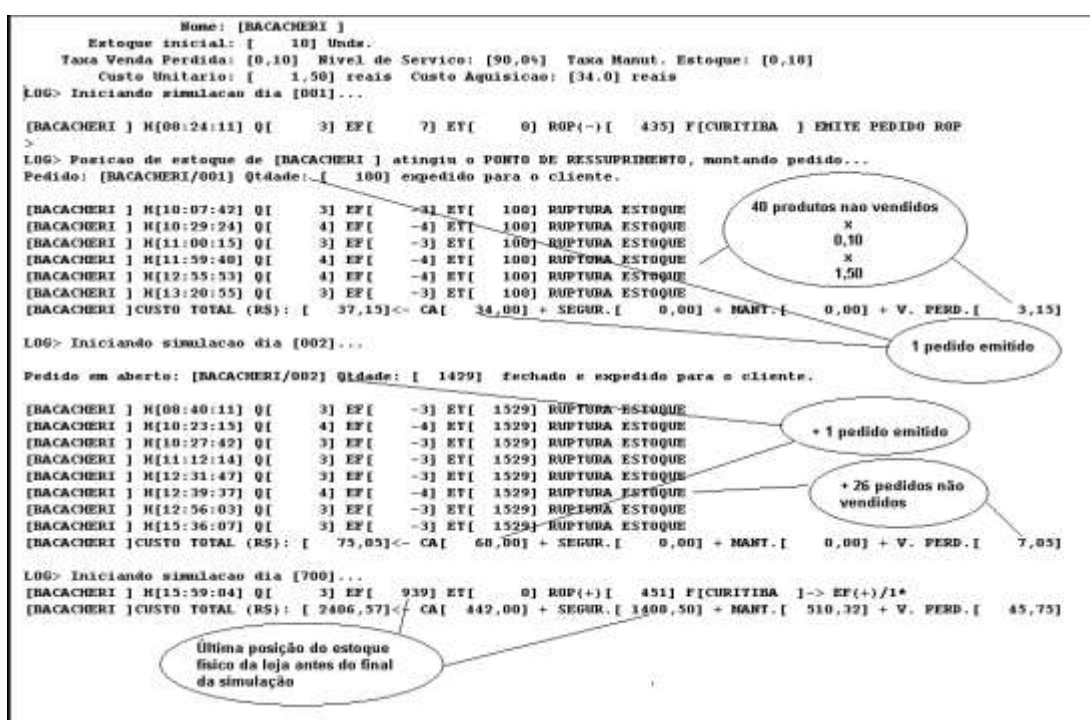


FIGURA 68 – CUSTOS DE ESTOQUE, COM EXCEÇÃO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO  
 FONTE: O AUTOR

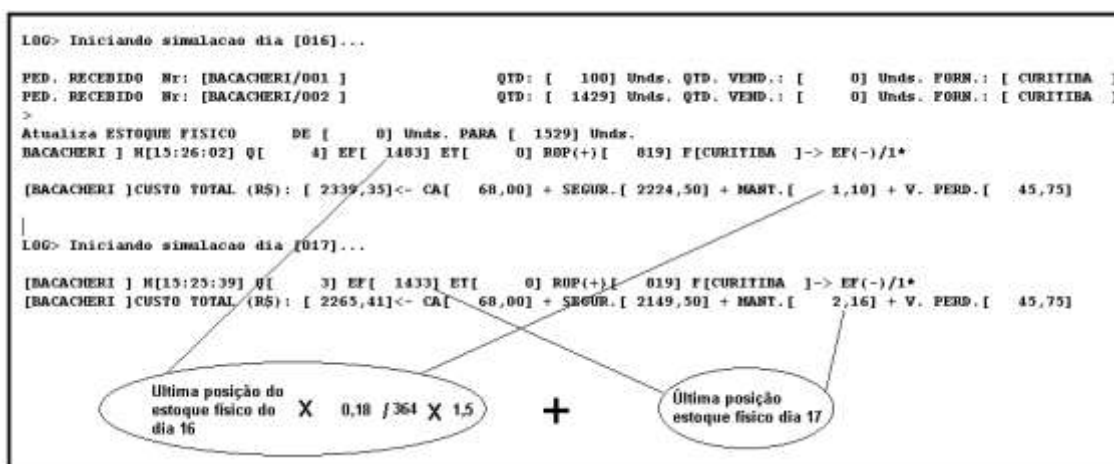


FIGURA 69 – CUSTOS DE MANUTENÇÃO  
 FONTE: O AUTOR

### Estatísticas Pós-Simulação

Os *logs* de execução da simulação para validação do algoritmo que apresenta as estatísticas pós-simulação se encontra no arquivo CENARIO\_EST\_01.pdf.

Os valores da média e desvio padrão para as variáveis enumeradas no item 3.3.8 foram calculadas a partir do dia “[001]” de simulação. Os dias com valor “negativo” não são computados uma vez que se trata do período de *warm-up*. Extraindo-se os valores das variáveis em questão do arquivo de log, do dia “[001]” ao dia “[021]”, calculando seu valor médio e seu desvio padrão chega-se à (TABELA 28), que apresenta valores idênticos aos valores reportados no final do *log* de simulação:

TABELA 28 – ESTATÍSTICAS PÓS-SIMULAÇÃO (CONTINUA)

Estatísticas Entidades				
Entidade	Variável		Média	Desvio Padrão
LOJA 1	Demanda Diaria	(Unds.)	22,05	11,08
	Estoque Fisico	(Unds.)	598,43	139,07
	Estoque Transito	(Unds.)	508,95	664,81
	Posicao Estoque	(Unds.)	1107,38	550,04
	RMSE	(Unds.)	31,02	12,68
	Custo Estoque Seg.	(R\$)	897,64	208,61
	Custo Man. Estoque	(R\$)	5,49	2,73
	Custo Aquisicao	(R\$)	12,95	16,92
	Custo Venda Perdida	(R\$)	0,00	0,00
	Custo Total	(R\$)	916,09	191,58
	Taxa de Atendimento	(%)	100,00	0,00

FONTE: O AUTOR

TABELA 28 – ESTATÍSTICAS PÓS-SIMULAÇÃO (CONTINUAÇÃO)

Estatísticas Entidades				
Entidade	Variável		Média	Desvio Padrão
CD 1	Demanda Diaria	(Unds.)	63,62	291,54
	Estoque Fisico	(Unds.)	1109,05	664,81
	Estoque Transito	(Unds.)	662,10	864,85
	Posicao Estoque	(Unds.)	1771,14	200,04
	RMSE	(Unds.)	324,68	326,38
	Custo Estoque Seg.	(R\$)	1330,86	797,77
	Custo Man. Estoque	(R\$)	11,50	5,44
	Custo Aquisicao	(R\$)	17,52	22,89
	Custo Venda Perdida	(R\$)	0,00	0,00
	Custo Total	(R\$)	1359,88	770,84
	Taxa de Atendimento	(%)	100,00	0,00
FAB 1	Demanda Diaria	(Unds.)	82,76	379,26

FONTE: O AUTOR



## APÊNDICE E

### DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DE LOGS DE SIMULAÇÃO

O log de simulação pode ser dividido em três seções:

- a) Descrição da Configuração : As configurações da rede de suprimentos e do simulador são listadas;
- b) Execução da Simulação: As ações do simulador são apresentadas a medida que o simulador vai processando o tempo de simulação, que é contando em dias;
- c) Apresentação dos Resultados: Ao término de simulação as o valor médio e o desvio padrão das variáveis descritas no item 3.3.8 são apresentadas.

O texto impresso pelo algoritmo que gera os logs é auto explicativo. No algumas descrições são necessárias para melhor entendimento. O arquivo DESCRICAO\_LOGS.pdf apresenta várias anotações que descrevem algumas convenções utilizadas pelo algoritmo gerador de logs.

Para visualizar todas as anotações uma vez que os mesmos estão espalhados ao longo do arquivo de *logs*, sugere-se ao leitor que ative a lista de comentários do *software* Adobe Acrobat Reader, utilizando os seguintes comandos :  
*View->Comment->Annotations*

## APÊNDICE F

### TABELA DE REFERÊNCIA ARQUIVOS DE LOGS

A (TABELA 29) apresenta a relação de todos arquivos de *logs* contidos no *CD-ROM* em anexo e a sua localização no texto deste trabalho, bem como o aplicativo necessário para sua leitura.

TABELA 29 – REFERÊNCIA ARQUIVOS DE LOGS (CONTINUA)

Nome do arquivo	Tipo	Referência
CENAGRO1AL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.1
CENAGRO1BL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.1
CENAGRO1CL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.1
CENAGRO1DL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.1
CENARIO01L0.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.6, apêndice D
CENARIO01L1.pdf	PDF (ADOBE)	
CENARIO02L1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.6.4
CENARIO03aL1.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO03bL1.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO03cL1.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO04aL0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO04bL0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO04cL0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO05L0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO06L0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO07abL0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO07cL0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO07dL0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO07eL0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO08L1.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO09L0.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice D
CENARIO_EST_01.txt	TXT (NOTEPAD)	apêndice D
CENBGR01AL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.2
CENBGR01BL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.2
CENBGR01CL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.2
CENBGR01DL1.pdf	PDF (ADOBE)	item 3.9.2
DESCRICA0_LOGS.pdf	PDF (ADOBE)	apêndice E
ESTAT_CEN_A_SEED_02.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_A_SEED_12.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_A_SEED_22.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3

FONTE: O AUTOR

TABELA 29 – REFERÊNCIA ARQUIVOS DE LOGS (CONTINUAÇÃO)

<b>Nome do arquivo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Referência</b>
ESTAT_CEN_B_SEED_02.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_B_SEED_12.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_B_SEED_22.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_C_SEED_02.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_C_SEED_12.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_C_SEED_22.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_D_SEED_02.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_D_SEED_12.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_D_SEED_22.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_ORIG_SEED_02.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_ORIG_SEED_12.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
ESTAT_CEN_ORIG_SEED_22.txt	TXT (NOTEPAD)	item 3.9.3
VALIDACAO_FDP.xlsx	XLS (EXCEL)	item 3.5

FONTE: O AUTOR